

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-336767

(43)Date of publication of application : 25.11.2004

(51)Int.Cl. H04L 12/56
H04B 7/26
H04L 12/28
H04Q 7/36

(21)Application number : 2004-134738 (71)Applicant : HARRIS CORP
(22)Date of filing : 28.04.2004 (72)Inventor : KENNEDY ROBERT A
CAIN JOSEPH BIBB

(30)Priority

Priority number : 2003 426731 Priority date : 30.04.2003 Priority country : US

(54) PREDICTIVE ROUTING IN MOBILE AD HOC NETWORK

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide predictive maintenance of routes in a mobile ad hoc network.
SOLUTION: The mobile ad hoc network includes a plurality of wireless mobile nodes and a plurality of wireless communication links connecting the nodes together. A method for managing and controlling the discovery and maintenance of routes in the network includes searching and using routes in the network, and predicting faults in the routes in the network, and executing maintenance of the routes based upon the predicted faults in the routes.



Cited Reference of
Japanese Patent Application No. 2005-512361
D4: JPA 2004-336767

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-336767

(P2004-336767A)

(43) 公開日 平成16年11月25日(2004. 11. 25)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H04L 12/56	H04L 12/56 100A	5K030
H04B 7/26	H04B 7/26 102	5K033
H04L 12/28	H04L 12/28 307	5K067
H04Q 7/38	H04B 7/26 K	
	H04B 7/26 104A	

審査請求 有 請求項の数 10 O L (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2004-134738 (P2004-134738)	(71) 出願人	594071675
(22) 出願日	平成16年4月28日 (2004. 4. 28)		ハリス コーポレーション
(31) 優先権主張番号	426731		Harris Corporation
(32) 優先日	平成15年4月30日 (2003. 4. 30)		アメリカ合衆国 フロリダ 32919
(33) 優先権主張国	米国 (US)		メルバーク, ウェスト・ナサ・ブルバード
			1025
		(74) 代理人	100070150
			弁理士 伊東 忠彦
		(74) 代理人	100091214
			弁理士 大貫 進介
		(74) 代理人	100107766
			弁理士 伊東 忠重

最終頁に続く

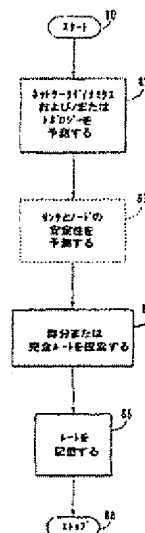
(54) 【発明の名称】 モバイルアドホックネットワークにおける予測ルート維持

(57) 【要約】

【課題】 モバイルアドホックネットワークにおいて、予測によりルートを維持することを課題とする。

【解決手段】 モバイルアドホックネットワークは、複数のモバイルノードと、前記モバイルノードを接続する複数のワイヤレス通信リンクよりなる。前記方法は、前記ネットワークにおいてルートを探索し、使用し、ネットワークにおいてルート障害を予測し、前記予測されたルート障害に基づいてルート維持を実行する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のモバイルノードと、前記モバイルノードを接続する複数のワイヤレス通信リンクよりなるモバイルアドホックネットワークを動作させる方法であって、
前記ネットワーク内の未来において必要とされる、ソースからデスティネーションまでの一組のワイヤレス通信リンクとモバイルノードよりなるルートを予測し、
少なくとも部分ルートと完全ルートのうち一つを含むルートを、予測された未来における通信の必要性に基づき探索し、
探索したルートを記憶し、
記憶したルートについて前記ネットワークにおけるルート障害を予測し、
前記予測したルート障害に基づき、ネットワーク内のルート維持を実行することを特徴とする方法。

【請求項2】

請求項1記載の方法であって、
ルート維持の実行は、障害が発生すると予測されたルートを代替する代替ルートを探索することを含むことを特徴とする方法。

【請求項3】

請求項2記載の方法であって、
代替ルートの探索は、障害が発生すると予測された各ルートに対して入手し得るルートを探索することを特徴とする方法。

【請求項4】

請求項1記載の方法であって、
ルート維持の実行は、ルート障害を減らすためにリンクの送信パワーを上げることを含むことを特徴とする方法。

【請求項5】

請求項1記載の方法であって、
ルート維持の実行は、ルート障害を減らすためにリンクに追加チャネルを割り当てる事を含むことを特徴とする方法。

【請求項6】

請求項1記載の方法であって、
ルート維持の実行は、障害が発生すると予測されたルートを代替する代替ルートが記憶されているか判断することを含む方法。

【請求項7】

モバイルアドホックネットワークであって、
複数のモバイルノードと、
前記モバイルノードを接続する複数のワイヤレス通信リンクとを有し、
各モバイルノードは、
前記ワイヤレス通信リンクを経由して他のモバイルノードと無線通信する通信手段と、
前記通信手段による通信をルーティングする制御手段とを有し、
前記制御手段は、
前記ネットワークで、ソースからデスティネーションへの一組のワイヤレス通信リンクとモバイルノードよりなるルートのうち、部分ルートおよび完全ルートを定義するルートキャッシュ手段と、
少なくとも部分ルートおよび完全ルートの一方を含むルートを探索し、前記ルートキャッシュ手段を更新するルート探索手段と、
前記ルートキャッシュ手段において定義されたルートの障害を予測するルート障害予測手段と、
予測されたルート障害に基づき前記ネットワークにおいてルート維持を実行するルート維持手段とを有することを特徴とするモバイルアドホックネットワーク。

【請求項8】

請求項7記載のネットワークであって、

前記ルート維持手段は、障害が発生すると予測されたルートを代替する代替ルートの探索を前記ルート探索手段に指示することを特徴とするネットワーク。

【請求項9】

請求項7記載のネットワークであって、

前記ルート維持手段は、ルート障害を減らすためにリンクの送信パワーを上げることを特徴とするネットワーク。

【請求項10】

請求項7記載のネットワークであって、

前記ルート維持手段は、ルート障害を減らすためリンクに追加チャネルを割り当てることを特徴とするネットワーク。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、モバイルアドホックネットワークに関し、特に、モバイルアドホックネットワークにおいてルート障害を予測し維持する方法およびネットワークに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、ワイヤレスネットワークが発達している。特に発達が著しい分野は、アドホックネットワークである。モバイルアドホックネットワークは、物理的には、多数の地理的に分散した潜在的にモバイルノードが、一またはそれ以上のラジオ周波数によって無線接続されているものである。セルラーネットワークやサテライトネットワーク等の他のネットワークと比較して、モバイルアドホックネットワークの最も顕著な特徴は、固定的なインフラストラクチャーを持たないことである。ネットワークはモバイルノードのみで構成され、他のノードに送信したり他のノードから受信したりするときに、ネットワークが構成される。ネットワークは特定のノードに依存しない。ノードが加わったり抜けたりしても、ネットワークはダイナミックに調整される。

【0003】

戦場や、地震・ハリケーンなどの自然災害の現場など、固定的な通信インフラストラクチャーの信頼性が低いとき、あるいは無いとき、アドホックネットワークは迅速に展開でき、必要とされる通信を提供することができる。モバイルアドホックネットワークは、主に軍事目的に開発されているが、民生分野や商業分野においても新たに利用されつつある。アドホックネットワークによれば、屋外や教室において、いかなるネットワークのインフラストラクチャーも用いなくて、コンピュータやPDAのスイッチを入れるだけでネットワークを構成し、データをやり取りすることができる。

【0004】

無線通信が日常的に使われるようになり、モバイルアドホックネットワークの新しいアプリケーションが現れ、通信体系の重要な一部となるであろう。モバイルアドホックネットワークは設計者にとっては、厳しい挑戦課題である。インフラストラクチャーが無いので、各ノードは、移動やネットワークへの加入・脱退に応じて、自己組織化および再構成しなければならない。すべてのノードは機能的に同一であり、ネットワーク内に階層構造や中心的コントローラは存在しない。ネットワークを制御する多くの機能はノードに分散されている。ノードはバッテリー駆動である場合が多く、通信能力や計算能力は限定されている。システムの帯域幅も普通は限定されている。ノード間の距離はラジオ送信の範囲を越えることも頻繁にあり、送信データは目的のノードに届くまでに、他のノードによって中継されることとなる。そのため、ネットワークのトポロジーはマルチホップトポロジーとなり、ノードが移動するにつれこのトポロジーも変化する。

【0005】

IETF（インターネットエンジニアリングタスクフォース）のMANET（モバイル

アドホックネットワーク)ワーキンググループは、マルチキャストを含むルーティングプロトコルを活発に推定、標準化している。ノードが移動するにつれてネットワークのトポロジーが変化するので、情報は陳腐化することとなる。時間、空間両面において、異なるノードはネットワークを異なった見方で見ることとなる。例えば、ある情報は、あるノードでは古くて使えないものであるが、別のノードでは古くない場合がある。また、ノードは自分から遠くない近傍のネットワークトポロジーのみを把握しているかも知れない。

【0006】

ルーティングプロトコルは頻繁に起こるトポロジーの変化と不正確な情報に対応しなければならない。このような独特な要請のため、アドホックネットワークにおけるルーティングは他のネットワークと比較して大きく異なる。ネットワーク全体について新しい情報を集めることは、しばしばコストがかかり現実的ではない。多くのルーティングプロトコルはリアクティブ(オンデマンド)プロトコルである。すなわち、必要な場合に、ルーティングする必要がある送信先へのルーティング情報のみを収集し、ある時間が経過すると使用しないルートは維持しない。このようにして、すべての送信先へのルートを常時維持するプロアクティブプロトコルと比較して、ルーティングのオーバーヘッドを大きく削減することができる。プロトコルに適応性があることが重要である。アドホック・オンデマンドディスタンスベクトル(AODV)、ダイナミックソースルーティング(DSR)、およびテンボラリオーダード・ルーティングアルゴリズム(TORA)は、MANETワーキンググループにおいて提示されたオンデマンドルーティングプロトコルの代表的なものである。

【0007】

その他のルーティングプロトコルとしては、デスティネーションシーケンスト・ディスタンスベクトル(DSDV)(特許文献1参照)、ゾーンルーティングプロトコル(ZRP)(特許文献2参照)等がある。ゾーンルーティングプロトコルは、ソースノードからの距離に基づいてプロアクティブなアプローチとリアクティブなアプローチを両方とも使用するハイブリッドプロトコルである。

【特許文献1】米国特許公報第5, 412, 654号

【特許文献2】米国特許公報第6, 304, 556号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

これらの従来からあるルーティングプロトコルは、ベストエフォートアプローチによりソースノードからデスティネーションノードへのルートを選択する。典型的には、ホップの回数がベストエフォートアプローチにおける主な基準(計量)である。換言すると、ホップ回数が最も少ないルートが送信ルートとして選択される。

【0009】

ネットワークが関係するアプリケーションは時間的制限が厳しく、オンデマンドによるルート探索アプローチに要する時間遅れを許容できないものであるかも知れない。ネットワークのノード数が多過ぎたり、ソースノードが十分頻繁にネットワークトポロジーを更新するには消費電力の制限が強すぎるかも知れない。このため、プロアクティブなMANETルーティングアプローチは取ることができない。したがって、リアクティブ(オンデマンド)ルーティングプロトコルが、唯一使用し得る従来のルーティングプロトコルであるため、設計者はリアクティブルーティングプロトコルを採用する。しかし、ルート探索に許容されている時間は非常にきびしいので、オンデマンドで探索されたルートは、探索できた時点ではすでに使えないかも知れない。

【0010】

本発明は上記に鑑みてなされたものであり、モバイルアドホックネットワークにおいて予測ルート維持を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明による上記およびその他の目的、特徴、長所は、モバイルアドホックネットワークを動作させる方法により提供される。モバイルアドホックネットワークは、複数のモバイルノードと、前記モバイルノードを接続する複数のワイヤレス通信リンクよりなる。前記方法は、前記ネットワークにおいてルートを探索し、使用し、ネットワークにおいてルート障害を予測し、前記予測されたルート障害に基づいてルート維持を実行する。

【0012】

ルート障害の予測は、各ルートについてリンク障害計量およびノード障害計量を含むルート障害計量を作成することを含み、ノード移動度および／またはラジオ波(RF)伝播特性を評価することを含んでもよい。ルート障害計量は、前記ネットワーク内の他のノードにブロードキャストされる。ルート障害の予測は、ルート障害計量に基づき、ソースからデスティネーションへのルートに対し平均障害時間(Mean Time to Failure: MTF)の決定を含んでもよい。

【0013】

予測ルート維持の実行は、代替ルートの探索を含んでもよい。例えば、障害が発生すると予測されたルートを代替する代替ルートの未来における有効性を予測し、ルート障害を減らすためリンクの送信パワーを上げ、ルート障害を減らすためリンクに追加チャネルを割り当てたり、または障害が発生すると予測されたルートを代替するため代替ルートがルートキャッシュに記憶されているかを判断することにより予測ルート維持を実行する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

添付した図面を参照しながら、本発明をより詳しく説明する。図面には好ましい実施の形態が示されている。しかし、本発明は他の多くの形態で実施することができ、ここに説明する実施の形態に限定して解釈するべきではない。むしろ、これらの実施の形態により本発明の開示を完全なものにし、本発明の技術的範囲を当業者に十分に伝えるためのものである。

【0015】

本発明は方法、データ処理システム、およびコンピュータプログラム命令として実施できることが、当業者には分かるであろう。したがって、本発明は、ハードウェア、ソフトウェア、あるいはハードウェアとソフトウェアが結合した形態を取ることができる。さらに、本発明は、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体に記憶されたコンピュータプログラム命令でもよい。コンピュータ読み取り可能な記憶媒体とは、例えば、スタティックRAM、ダイナミックRAM、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、その他の磁気記憶装置、その他の光記憶装置である。

【0016】

本発明の実施形態による方法、システム、およびコンピュータプログラム命令を示したフローチャートを参照して、本発明を説明する。図に示したブロックやその組み合わせは、コンピュータプログラム命令として実現できることが分かる。このプログラムは、汎用コンピュータ、特殊用途コンピュータ、その他プログラマブルデータ処理装置のプロセッサに供給し、そのブロックやブロックの組み合わせで特定される機能をこのプロセッサに実現させることができる。

【0017】

コンピュータプログラム命令は、コンピュータ読み取り可能なメモリに記憶されたコンピュータプログラム命令が、フローチャートのブロックやブロックの組み合わせで特定される機能を実現する命令を含む物品になるように、コンピュータその他プログラマブルデータ処理装置に機能させることができるコンピュータ読み取り可能なメモリに記憶させることもできる。コンピュータプログラム命令は、コンピュータまたは他のプログラマブルデータ処理装置により実行される一連の動作ステップにコンピュータまたは他のプログラマブル装置に実装されたプロセスを生成させるために、そのコンピュータまたは他のプログラマブルデータ処理装置にロードされる。コンピュータまたは他のプログラマブル装置上で実行される命令が、フローチャートのブロックで特定される機能を実装するため

のステップを供給する。

【0018】

本発明においては、モバイルアドホックネットワークにおけるテンポラル・トランジション・ネットワーク・プロトコル(TTNP)を使用してもよく、テンポラル・トランジション・プロセスおよびイベントにより、ルート探索とそれに付随するプロセスを効率的に管理・制御できる。このことは、本出願人が2002年4月29日に出願した米国特許出願No. 10/134,856に記載されている。さらに、本発明においては、インテリジェント・コミュニケーションノードオブジェクト・ビーコン・フレームワーク(ICBF)を使用してもよく、存在する通信ノードオブジェクトによるインテリジェントな適応通知および/またはビーコンを送信している他のノードオブジェクトまたはノードオブジェクトのネットワークによる対応する探索(近傍探索)を実現することができる。このことは、本出願人が2002年9月4日に出願した米国特許出願No. 10/235,242に記載されている。

【0019】

予測的ルーティング、またはプサイアクティブルーティング(ΨR_t)は、ルートの探索および維持において、現在必要ないが未来において追加のルートを確認し維持する必要性をネットワークが検知し予測するものである。基本的には、 ΨR_t は、複数のネットワーク層から未来において必要とされるルートとそれに付随するルート維持動作を高い信頼性で予測するのに必要な情報を取り出す。プサイアクティブルーティング(ΨR_t)の各コンポーネントについて、そのアーキテクチャについて説明し、コンポーネントの主要な能力・機能の簡潔なアルゴリズムについて適宜説明し、他の ΨR_t コンポーネントやハイブリッドアドホックネットワークなどのより大きなネットワークアーキテクチャとの外部インターフェイスについて説明し、 ΨR_t コンポーネントにより使用されるネットワークステートプロファイルについて説明し、コンポーネントにより使用される ΨR_t 専用プロトコルおよび汎用プロトコルについて説明する。

【0020】

ΨR_t はアドホックネットワークルーティングの一種であり、現在のルーティングシナリオを取り扱うプロアクティブな方法またはリアクティブ(オンデマンド)な方法を予測するために使用する。その予測は、低速から高速までネットワークダイナミクスの全域に適時に対応するように、アドホックネットワークルーティングの能力を大幅に向上させるために、ネットワーク(またはその一部)の未来における状態を予測する予測技術を使用する。 ΨR_t のコンテキストにおいては、「フォーキャスト」とは中間段階の予測ステップであり、「予測」とは最終結果にいたるまでのすべてのステップの結果である。 ΨR_t は、階層的であるかフラットであるかに係らず、いかなるネットワークアーキテクチャにおいても正しく動作する。 ΨR_t はそれ自身で正しく動作するのみならず、テンポラル・トランジション・ネットワーク・プロトコル(TTNP)やゾーン・ルーティング・プロトコル(ZRP)のようなハイブリッドなルーティング組織においても正しく動作する。 ΨR_t は環境に適応可能である。

【0021】

アドホックネットワークルーティングに対する現状の考え方に反して、プロアクティブな方法もリアクティブな方法も、数多くの重要なアプリケーションにおいて支配的な問題ともなるネットワークルーティング(ルート探索、ルート維持、ルート障害、およびトポロジー探索を含む)がかかえる多様な問題を適切に解決することはできない。プロアクティブな方法もリアクティブな方法も、現在のルーティングシナリオを解決できるだけであり、それでもネットワークトポロジーのダイナミクスを緩和するだけである。その割合は、ネットワーク内のノード数と、通信リンクのバンド幅と、ソース・デスティネーションのペアの数と、リンクの品質とに係る。

【0022】

図1は、モバイルノード12が構成するネットワーク100のスナップショットであり、ノードを接続するワイヤレスリンク14を示す。このネットワークが関連するアプリケ

ーションには時間的制約があり、オンデマンドルート探索アプローチによる時間遅れは許容できない。このネットワークには多数のノードがあり、消費電力の制限もあるため、ソースノード S_n は、ネットワークトポロジを頻繁に更新することができない。したがって、プロアクティブなMANETルーティングアプローチはとることができない。ネットワークの設計者は、リアクティブ（オンデマンド）ルーティング方法が従来の基本的ルーティング方法のうち唯一の取りうる方法であるとして、リアクティブ（オンデマンド）方法を使用するであろう。

【0023】

ある時点において、ソースノード S_n はデスティネーションノード D_n に情報を送るよう要求される。ソースノード S_n は、情報を送るルートがルートキャッシュに無いので、リアクティブルート探索プロセスを起動し、ルート1（ R_1 ）とルート2（ R_2 ）とを見つける。しかし、ルートを探索するのに許容される時間は厳しく制限されているので、発見したルート1とルート2とはすでに使用できない。このルーティング上の問題は、プサイアクティブルーティング ΨR_t を使用することにより解決することができる。 ΨR_t は、ルートが必要とされる前に、ルートやルートセグメント（すなわち、ノード Y_1 および Y_2 、およびそれらの間のリンク）を形成することができる。この新しいルーティング方法は、一般的特性として、ルートがいつどこまで必要か予測するためアプリケーション情報を使用し、ルートの構成と強さを向上するため動的に予測したリンク／ノード／パスを使用し、ルートまたは部分ルート（ルートセグメント）であって実際に必要とされるときに安定しているであろうもの（実際に必要とされる前にソースノード S_n のルートテーブル（キャッシュ）に格納される）を事前に構成し、潜在的に少ないオーバーヘッドでリアルタイムの応答能力（スーパーリアルタイム応答）を向上し、 ΨR_t を従来からあるルーティングアルゴリズムと組み合わせて使用する。基本的な技術的アプローチは、3つの相互に関連した部分に分けられる。アプリケーションが必要とする時点で安定なルートを予測する部分と、適切なときにこれらのルートを活性化する部分と、およびこれらのルートが必要となるまで所定時間の間ルートを維持する部分とである。

【0024】

図2および図3を参照して、モバイルアドホックネットワーク10を動作させる方法、すなわち、ソースノードからデスティネーションノードへのルートを探索する方法を次に説明する。ネットワーク10は、ソースノード S 、デスティネーションノード D 、およびそれらの間の中間ノードを含む複数のモバイルノードを含む。当業者には分かるように、ノード12は、例えばノートブックコンピュータ、パーソナルデジタルアシスタント（PDA）、携帯電話等であり、ワイヤレス通信リンク14により接続されている。

【0025】

一実施形態による方法によると（図3のブロック80で始まる）、ネットワーク10において未来において必要とされるルートを予測する。ここでルートとは、ソース S からデスティネーション D までの、一組のワイヤレス通信リンク14とモバイルノード12よりなる。未来において必要となるルートを予測することは、複数のモバイルノードのうち少なくとも2つの間の未来における通信を予測することを含んでもよく、その予測はファジー論理に基づくものでもよい。必要性は典型的には現在および過去のトラフィックデータ等に基づく。未来におけるネットワークのダイナミクスおよび／またはトポロジを予測する（ブロック82）。そして、部分ルートと完全ルートとを含むルートを、予測された未来におけるネットワークのダイナミクスおよび／またはトポロジに基づき、ネットワーク内の予測された未来において必要となるルートに沿って探索する（ブロック84）。また、当該方法において、ブロック88で終了する前に、未来において使用するために、予測したルートをルートキャッシュまたはルートテーブルに記憶する（ブロック86）。また、当該方法は、予測された未来において必要とされるルートに沿うリンク14およびノード12（リンクとノードの安定性情報を予測し、他のノードに送信する各ノードを含む（ブロック83））の未来における安定性を予測することを含んでも良い。

【0026】

当該方法において、未来におけるネットワークダイナミクスを予測するに際し、現在のネットワークダイナミクスを監視してもよいし、ルートを探索するに際し、プロキシソースノードからプロキシデスティネーションノードまでのルートを探索してもよい。プロキシソースノードとプロキシデスティネーションノードは、好ましくは、予測された未来において必要とされるルートに沿ったリンク14およびノード12の未来における安定性に基づき選択される。典型的には、ソースノードSがプロキシソースノードに要求を送信し、プロキシソースノードからプロキシデスティネーションノードへの部分ルートを確立する。

【0027】

リンクとノードの安定性情報は、ルート要求への応答として他のノード12に送信されてもよい。そして、未来において必要となるルートは、ミッションプラン、スケジュール、計画したトラフィックパターン、およびネットワークマネジメントデータのうち、少なくとも一つに基づき、予測される。さらに、以下に詳しく説明するように、未来におけるネットワークダイナミクスの予測は（ブロック82）、好ましくは、未来におけるルート障害の予測および／または未来におけるルート維持の予測を含む。

【0028】

さらに具体的には、ルート障害の予測は、各ルートのリンク障害計量およびノード障害計量を含むルート障害計量の生成を含んでもよい。ルート障害計量の生成は、ノードの移動性および／または電波伝搬特性の推定を含んでもよい。ルート障害計量は、ネットワーク内の他のノードにブロードキャストしてもよい。ルート障害の予測は、ルート障害計量に基づきソースからデスティネーションまでのルートの平均障害時間（MTF）を決める事を含んでもよい。

【0029】

予測的なルート維持は代替ルートの探索を含んでもよく、代替ルートの探索は、障害が発生すると予測されるルートを代替する代替ルートの未来における実現性を予測し、ルート障害を減らすためリンクの送信出力を上げ、ルート障害を減らすためリンクに追加的経路を割り当て、障害が発生すると予測されたルートを代替するためにルートテーブル／キャッシュに代替ルートを記憶したかを判定することにより行われる。

【0030】

WRもは多数のネットワークパラメータを有しているので、ターゲットであるデータの適切なサンプリングおよび適時の処理を予測することができる。例えば、パラメータ予測カテゴリーとしては、ノードおよびリンクダイナミクスがある。より多くの安定なリンクとノードを経由するより長いルートと、より少ない不安定なリンクとノードを経由するより短いルートには、トレードオフの関係がある。このことは、パイロットが近道をして雷雨の真ん中を突っ切り、結局目的地に到達できない危険をおかすよりも、激しい雷雨を避けて長い道のりを安全に飛行して目的地に到達することと似ている。

【0031】

ノードおよびリンクダイナミクスの予測は、リアクティブルーティングアプローチ、プロアクティブルーティングアプローチ、ハイブリッドルーティングアプローチ、階層的ルーティングアプローチ、および構造的フラットルーティングアプローチにも使用することができる。階層的リアクティブルーティング（HRR）等の構造的ネットワークにおいて使用すると、予測されたノードおよびリンクダイナミクスはクラスター形成を最適化できる。図1と図2を参照して説明したとおり、WRもはルートの一部が不安定である部分ルート（ルートセグメント）を予測し、頻繁にルート変更をするか、もしくは不安定な部分を避ける。一方、ルート内の他のルートセグメントは未来において必要なときに使用できるくらい安定であると予測される。

【0032】

これらの予測は、例えば最適リンクステートルーティング（OLSR）などのプロアクティブプロトコルにおいて、アドホックルーティングプロトコルのために必要とされるルーティング情報の更新を最適化するのに使用でき、予測されたリンクおよびノードダイナ

ミクスに基づき、各ノードがルーティング情報をブロードキャストする期間を適応的に制御する。これによりネットワーク内のオーバーヘッド情報をかなり削減することができ、非オーバーヘッド情報により多くのネットワークのバンド幅を使用することができる。同様に、ハイブリッドネットワーク（例えばTTNP）や階層的ネットワーク（例えばHRR）においても、ルーティング情報のブロードキャストを最適化することができる。予測したリンクおよびノードダイナミクスは、マルチパスルーティングにおいても使用することができる。マルチパスルーティングにおいて、これらの予測により必要なパスの数と、バックアップルートの選定と、およびネットワークタイムコーディングのためのコーディングオーバーヘッドとを決定することができる。

【0033】

具体的には、このトラフィックの予測は、トラフィック付加、トラフィックソース、トラフィックシンクを含む。例えば、ミッションプランは、あるノードがいつ情報を交換する必要があるかを示している。もし、 ΨR もがAODVなどのリアクティブプロトコルを使用すれば、AODVはルートが実際に必要とされる前にルート探索を行うであろう。これによりAODVは、よりプロアクティブルーティング方法らしく振舞うようになる。もし、 ΨR もにOLSR等のプロアクティブなプロトコルが使用されれば、ネットワークまたはその一部のトポロジー更新期間は、ネットワークの予測されたルーティングの必要性により調整することができる。 ΨR の予測能力を利用した全ネットワークまたはその一部のネットワークトポロジー更新期間を調整する能力については以下に説明する。

【0034】

ΨR もネットワークを構成する多様な実態について説明する。それらは図1および図3に示してある。リンク14は ΨR もネットワークにおいて最も基本的な接続であり、いずれか2つのノード12の間の物理的リンクである。ノード12はリンク14の端点である。ノード12を記述する情報は、ID（例えば、IPアドレス、ATMアドレス）および、もしあれば位置情報を含む。ルートセグメントRSは、グループ化された一組のリンクとノードであり、潜在的には1つ以上のルートにおいて再使用可能な実態を形成する。これらのリンクは空間的に連続的なものである必要はなく、ノードはルートセグメントRS内の少なくとも1つの他のノードに隣接（1ホップ以内で）している必要もない。例えば、図1において、セグメント1のリンクは連続的であるが、セグメント1のノードはすべてがルートセグメントRS内の少なくとも1つの他のノードから1ホップ以内であるわけではない。セグメントリンクセット（SLS）は、ルートセグメントRSからノードを引いたものである。セグメントノードセット（SNS）は、ルートセグメントRSからリンクを引いたものである。ルートは、結合するとソースSからデスティネーションDへの連続的なパスを形成する、1組のルートセグメントである。ルートリンクセット（RLS）は、ルートからノードを引いたものである。ルートノードセット（RNS）は、ルートからリンクを引いたものである。プロキシソースノード（pSn）は、ルート内の中間ノードであって、ルートセグメントの始点となるノードである。この定義から、実際のソースノードSnはプロキシソースノードpSnにはなりえず、逆にプロキシソースノードpSnはソースノードSnにはならない。プロキシソースノードpSnは、所定の状況においてソースノードSnを代替する機能を有することから名づけられたものである。プロキシデスティネーションノード（pDn）は、ルート内の中間ノードであって、ルートのルートセグメントRSの終点となるものである。この定義から、実際のデスティネーションノードDnはプロキシデスティネーションノードpDnにはなりえず、逆にプロキシデスティネーションノードpDnはデスティネーションノードDnにはならない。プロキシデスティネーションノードpDnは、所定の状況において、デスティネーションノードDnを代替する機能を有することから名づけられたものである。ソースデスティネーションサブセット（SDS）は、指定されたソースノードSnから到達可能なデスティネーションノードDnの許容されたサブセットである。ネットワーク全体が上限となる。特殊な場合として、フォーマルサブネットがある。

【0035】

ルートセグメントRSが生成されると、以下の情報を含むルートセグメントプロファイルも生成される。このセグメントのセグメントリンクサブセット(SLS)を整列したセグメントリンクセットプロファイル(SLSP)。この整列順序は整列パラメータと同様に、時間と共に変化してもよい。このセグメントのセグメントノードサブセット(SNS)を整列したセグメントノードセットプロファイル(SNSP)。この整列順序は整列パラメータと同様に、時間と共に変化してもよい。ルートセグメントが時間の経過と共に変化する仕方を追跡しフォーキャストする集積されたノードおよびリンクステータス/ステート情報と結びついた、数学的関数(決定論的、統計的、ファジー)や帰納的なルールの集合のようないかなるタイプのディスクリプターでもよい時間依存セグメント安定性プロファイル(TSSP)。例えば、最も簡単なディスクリプターの1つは、ルートセグメントのリンクの品質とノードのダイナミクスにより特徴づけられた1次関数である。このディスクリプターと関連している各リンクとノードは、同じ安定性プロファイル関数を有するが、異なる悪化率と回復率を表す異なる傾きを有する。リンクとノードの入手容易性(アベイラビリティ)データは、このセグメントのリンクとノードについて様々な時に収集され、ディスクリプターにより処理される。これは、非常に不安定なセグメントから準永久的に安定なセグメントまで、いかなるタイプの安定性を有するルートセグメントを表現するのに、非常に効果的な概念的メカニズムである。

【0036】

ルートが生成されると、以下の情報を含むルートプロファイルも生成される。ルートセグメントRSのリンクの集合をつくる、順序づけされたルートセグメントRSの集合を含むルートセグメントセットプロファイル(RSSP)。順序パラメータと同じく、この順序も時間とともに変化する。どのルートセグメントがルートに接続/切断されるかに関して、ルートが時間の経過と共に変化する仕方を追跡しフォーキャストする、数学的関数(決定論的、統計的、ファジー)や帰納的なルールの集合のようないかなるタイプのディスクリプターでもよい時間依存ルート安定性プロファイル(TRSP)。例えば、最も単純なディスクリプターの1つは、ルートセグメントのリンクの品質とノードのダイナミクスにより特徴づけられる1次関数である。このディスクリプターと関連づけられた各セグメントは、同じ安定性プロファイル関数を有するが、異なる悪化率と異なる回復率を表す傾きは異なる。ルート内のセグメントについて様々な時にセグメントアベイラビリティデータとセグメント間相互作用データが収集され、ディスクリプターにより処理される。時間依存ルート安定性プロファイル(TRSP)は、すべてのルートセグメントに関してルートの安定性を表現する非常に効果的な概念的メカニズムである。TRSPは、個別のリンクやノードの調査が表すよりも高次の安定性を示す。

【0037】

図4と図5を参照して、本発明のシステムとしての側面を説明する。前述の通り、モバイルアドホックネットワーク10は、複数のワイヤレスモバイルノード12と、ノードを接続する複数のワイヤレス通信リンク14とを有する。各モバイルノード12は、ワイヤレス通信リンク14を経由して、他のノードとワイヤレス通信する通信デバイス22を有するルータ20を含む。ルータ20は、通信デバイス22を経由して通信をルーティングするコントローラ24を含む。メモリ26もコントローラ24の一部として、またはコントローラ24に関連して含まれてもよい。

【0038】

コントローラ24はネットワーク10内の部分ルートや完全ルートを表すルートテーブル36を含む。前述の通り、ルートはソースからデスティネーションまでの一組のリンク14とノード12である。コントローラ24は、複数のモバイルノードのうち少なくとも2つの間の未来における通信の必要性を予測するルート必要性予測手段32と、未来におけるネットワークトポロジーおよび/またはネットワークダイナミクスを予測するトポロジー/ダイナミクス予測手段も含む。コントローラ24は、未来における通信の必要性と未来におけるネットワークトポロジーに基づいて、部分ルートと完全ルートを含むルートを探査するルート探査手段30も含む。ルート探査手段30は、ルート探査プロセスによ

りルートテーブルを更新する。

【0039】

ルート必要性予測手段32は、後に詳述するように、ファジー論理の「if-then」ルールと統計的計量的フォーキャストに基づき、未来における通信の必要性を予測することができる。ルート必要性予測手段32は、サンプリングされ更新されるネットワークの物理的特徴および動作の特徴のうち少なくとも一方を含む、ネットワークの記述的情報を記憶することができる。ここで、ルート必要性予測手段32は、好ましくは、ファジーif-thenルールの知識ベースを含む。

【0040】

トポロジー／ダイナミクス予測手段34は、好ましくは、ルートテーブル／キャッシュ36で定義されたルートの障害を予測するルート障害予測手段を含む。ルート障害予測手段は、リンク障害計量とノード障害計量とを含むルート交渉計量を生成し、ルート障害計量を生成するためにノードモビリティおよび／またはRF伝播特性を推定することもできる。ルート障害予測手段は、後に詳述するように、ルート障害計量に基づき、ソースからデスティネーションまでのルートについて平均障害時間(MTF)を決定する。

【0041】

ルート維持手段40は、予測されたルート障害に基づきネットワークのルート維持を行う。例えば、ルート維持手段40は、障害が発生すると予測されたルートを代替するための代替ルートの探索をルート探索手段30に指示する。替わりに、あるいは併せて、ルート維持手段40は、ルート障害を減少させるため、リンクの送信パワーを上げ、リンクに追加チャネルを割り当て、および／または障害が発生すると予測されたルートを代替するために代替ルートがルートテーブル／キャッシュ36で定義されているか判断してもよい。

【0042】

ΨRtの一般的なアーキテクチャ(ΨAr)は、コンポーネントやその外部ΨRtパラメータが特定のアプリケーションや一般的なプロトコルスタックに依存しないように、ΨRtのコンポーネントを特定し定義することを前提としている。外部ΨRtインターフェイスパラメータのこの定義された一般的な組は、ΨRtインターフェイスの仕様に合致するようにアプリケーションシステムデザインにおいて選択される。そのように合致させるため、カスタムパラメータ変換により特定のアプリケーションシステムがこれらのパラメータを生成する必要があった。各主要コンポーネントのアーキテクチャは、この依存性をさらに保存するため、ΨArとは切り離されている。

【0043】

図6は、ΨRtの一般的なアーキテクチャ(ΨAr)を示す。図6には、ΨRtを形成する6つの主要な機能的コンポーネントと、左側に一例として示したプロトコルスタック間のインターフェイス(IF)が示されている。他のプロトコルスタックの設計は異なるかもしれないが、インターフェイス(IF)によりパラメトリック形式の情報をΨRtに与えなければならない。広い範囲のプロトコルスタックについて一般的なインターフェイスIFがテンプレートやデフォルトとして入手可能であるが、インターフェイスIFは一般に特定のスタックとアプリケーションにカスタマイズされる。

【0044】

図6に示したとおり、Ψ制御(ΨCn)、Ψルート予測(ΨRp)、Ψルート探索(ΨRd)、Ψトポロジー探索(ΨTd)、Ψルート障害予測(ΨRf)、Ψ予測ルート維持(ΨRm)が6つの主要なコンポーネントである。図を見やすくするため、ΨCnの他のコンポーネントとの接続は明示的には示されていないが、実際にはΨCnとΨRtの他のすべてのコンポーネントの間には、双方向の接続／矢印がある。

【0045】

ΨCnはΨRtの全般的な制御を行う。ΨRpは未来における新しいルートとルートセグメントを予測する。ΨRfはルートの障害を予測する。ΨRmは、ルート障害が発生すると仮定して、実際に発生したときに対処方法を見つけるまでの時間を減らすように、予

測された未来におけるルート障害への対処方法を予測する。 $\Psi R d$ は、新しいルートやルートセグメントを探索するために $\Psi R p$ と $\Psi R m$ が使用するルート探索機能である。 $\Psi T d$ は、 $\Psi R m$ のトポロジー探索機能である。

【0046】

$\Psi R m$ は、この6種類のコンポーネントをどのノードやノードの部分集合に物理的にマッピングするかを規定するものではない。 $\Psi R m$ の基本的な考え方として、物理的なマッピングは、具体的なアプリケーションやネットワークの設計者に委ねている。しかし、もし各ノードにすべてのコンポーネントをサポートする物理的資源があり、各ノードにそれほど多くの機能を持たせることでセキュリティ等の問題がないなら、各ノードがすべてのコンポーネントを有してもよい。ネットワークの要求項目、ストラテジー、アーキテクチャの候補、機能をどのくらいネットワーク内に分散させるかなどは、ネットワークの設計者が決定すればよい。概念的には $\Psi R m$ はマッピングからは独立である。しかし、スループット、セキュリティ、消費電力制限等の理由により、場合によっては、分散的なアーキテクチャの方が好ましいであろう。

【0047】

図6に示したとおり、左側のネットワーク通信の5つの層と、 $\Psi R m$ の Ψ 制御以外の5つのコンポーネントとの間は、1対1のマッピングではないが、直接接続されている。 $\Psi C n$ は、他の5つのコンポーネントが整合的かつ調和的に動作するように制御する。外部インターフェイスについては、 $\Psi C n$ のセクションで説明する。各コンポーネントの詳細は以下の通りである。

【0048】

アプリケーション層からのデータは $\Psi R p$ 、 $\Psi R m$ 、 $\Psi R f$ に分配される。このデータには、ミッションプラン、スケジュール、計画されたトラフィックパターン、ネットワークマネジメントデータ、および明示的に規定された未来におけるルート等の情報が含まれている。物理層からの情報は $\Psi R p$ と $\Psi R f$ とに分配される。物理層からのデータには、ノード移動度制限、ノードパワー仕様、アンテナ指向特性などの情報が含まれている。リンク計量、ノード計量、スナップショットトポロジー更新などのデータリンク層からの情報は、 $\Psi R p$ 、 $\Psi R d$ 、 $\Psi R m$ 、 $\Psi R f$ 、および $\Psi T d$ に分配される。しかし、データリンク層の情報が各 $\Psi R m$ コンポーネントに送られるわけではない。輻輳統計、フロー情報、一般のトラフィック管理情報などのトランスポート層からの情報は、 $\Psi R f$ と $\Psi R m$ とに分配される。

【0049】

ネットワーク層は、情報を $\Psi R d$ と $\Psi T d$ に送るメカニズムとして機能する。 $\Psi R m$ はこれらの層から情報を明示的には抽出しないが、これらのパラメータを抽出するために典型的にはアプリケーションごとに記述されるインターフェイスに依存する。デフォルトでは、テンプレートとして一組の一般的なネットワークスタックインターフェイスを使用する。 $\Psi R m$ の特徴の一つは、ネットワーク通信にクラシカルな層構造からの情報を利用する能力を有しており、この情報の一部が入手できなくても、最適ではないモードで機能することである。ミッションプランニング等のアプリケーションはネットワークが無くても機能するであろう、しかしネットワークはルートの予測を向上するために、もしあればミッションプランニング情報を使用するであろう。

【0050】

多数のモバイルノードを含む $\Psi R m$ ネットワークの実行フローの例を説明する。この例では、従来のルーティングコンポーネントとしてAODV($\Psi R m/AODV$)を使用している。AODV(アドホック・オンデマンド・ディスタンス・ベクトル)はリアクティブなルーティング方法である。ダイナミックソースルーティング等のその他のリアクティブな方法は、システム上の要請からAODVに置き換えられる。同様に $\Psi R m/OLSR$ (最適リンク状態ルーティング)を使用してもよいし、その他のプロアクティブな方法を使用してもよい。

【0051】

1 ネットワークの初期化において $\Psi C n$ が起動され、従来のルーティングコンポーネント（AODV）も含めて $\Psi R m$ の起動を制御する。

【0052】

2 AODVによりアドホックネットワークルーティングが初期化される。

【0053】

3 ルート要求が生成され、ノードのルートキャッシュ（テーブル）が作られる。

【0054】

4 $\Psi C n$ は、以下の一つまたはそれ以上の条件が満たされたとき、AODVから制御を引き継ぐ $\Psi R p$ を起動する。

【0055】

・指定されたネットワークの安定化条件が（1）所定のレベルに達し、または（2）ネットワークのエリア・オブ・インタレスト（AOI）内の変化の所定パターンになる。

【0056】

・ネットワークの指定されたエリア内のノードが、現在探索しているルートの一部とするには高速で動き過ぎている。

【0057】

・ノードがネットワークのある部分から、不確定な（しかし必ずしも不安定ではない）条件のエリアに動き、信頼性のレベルが最低限予測可能なAODVを使用できなくなる。

【0058】

・現在ではないが未来におけるいつかの時点でネットワークノード同士が通信を行う必要があるとの命令を、 $\Psi C n$ がアプリケーションから受け取る。

【0059】

$\Psi R m$ に対しネットワークは以下の通り反応する。

【0060】

5 $\Psi C n$ が影響を受けたエリアにある関連するノードにメッセージをマルチキャストする。

【0061】

6 メッセージは、 $\Psi R p$ 、 $\Psi R m$ 、または $\Psi R f$ コンポーネントに宛てて送られる。
 $\Psi R d$

と $\Psi T d$ は、 $\Psi R m$ の他のコンポーネントに対してスレーブである。

【0062】

7 メッセージは、指定されたAOIの一つまたはそれ以上のルートを予測し、障害が発生する前にAOI内の障害を予測し、障害に対するルート維持方法を予測するものである。

【0063】

8 メッセージがネットワーク全体または指定されたネットワークの一部に送信される。

【0064】

9 この時点からネットワークが停止するまで、 $\Psi R m$ の予測的なコンポーネントおよび従来からある非予測的コンポーネント（この場合、AODV）がルートテーブル（キャッシュ）を変更する。

10 $\Psi R m$ の実行によって、変更されたデータが付随するTRSPおよびTS SPに記録される。

11 各ネットワークコンポーネント（ノード、リンク、セグメント、ルート）の安定性および状態をトラッキングするため、付随するTRSPとTS SPの情報ベースが生成され、更新される。

12 情報ベースに集積されたすべてのデータがルートキャッシュ分析から得られたものではない。このデータおよびそれに関係したデータが、もし別のQoSおよびトラ

フィック管理情報ベースがそのようなデータを集積している場合は、それらから集めることができる。このデータは、リンクおよびノード状態を送信しているノードから直接集めることもできる。

【0065】

上述の通り、 ΨR もは基本的には、ネットワーク内の一つのノードあるいは特定のノード群にコントロールをマッピングするように命令するわけではない。したがって、 $\Psi C n$ は、設計者の要求や性能に応じて、ネットワーク内の全ノードに分配してもよいし、一つまたは少数の選ばれたノードに分配してもよい。 ΨR も他のコンポーネントは、 $\Psi C n$ と同じノードにある必要はない。 ΨR もが存在するネットワークにおいて、 $\Psi C n$ は、外部情報により ΨR も他のコンポーネントを起動する。一つのやり方としては、ネットワークの条件に応じて決まる期間で、周期的に ΨR もを起動すればよい。 ΨR もを定期的に起動する条件は、ある時点におけるノードの展開パターンと、ネットワーク内のノードの通常の急激な増加・減少と、ある期間ノード間のリンクを効果的にオンしたりオフしたりする指向性アンテナの予測可能な変化と、によって変化すると期待される。他のやり方は、 $\Psi R p$ モジュールによって変換されるミッションプランの出力に応じて ΨR もを起動することである。ハイブリッドなネットワークにおいて、スイッチング論理により、 ΨR もを使うか否かを、必ずしも起動しなくても制御することができる。例えば、テンポラル・トランジション・ネットワーク・プロトコル (TTNP) を使用したネットワークは、いっどこでプロアクティブなルーティングプロトコルからリアクティブなルーティングプロトコルにスイッチしたり、その逆にスイッチしたりするかを決定するため、様々な安定性条件を使用する。TTNPの一般的なバージョンは、プロアクティブおよびリアクティブなプロトコルに限定されていない。TTNPは ΨR もをハイブリッドの一部として含んでもよい。したがって、TTNPネットワーク内で ΨR もを起動することは、ネットワークの安定性条件によって制御することができる。

【0066】

一方、 ΨR も、特に $\Psi C n$ は、ハイブリッドなアドホックネットワークにおいて常に起動されているわけではなく、それゆえ起動されていないときはコントロールを使用することはできない。アクティブなときは、「ブラックアウト」中にネットワークで何が起きたか、 ΨR もは知ることが必要である。ハイブリッドネットワークコントローラは、 ΨR もに適当なメッセージを送り、 ΨR もが知っていることおよびデータベースをネットワークの現状と合わせておく必要がある。

【0067】

また、図6に示されているように、 $\Psi C n$ は、アプリケーション層と物理層とに直接の ΨR も-外部インターフェイスを有する。以下に、インターフェイスを経由してアプリケーション層および物理層と $\Psi C n$ とでやり取りされる情報のリストを示す。 $\Psi C n$ は、典型的にはシステムがブートされるときに起動される。

【0068】

1 ネットワーク内の目的のノードまたは一組のノードの ΨR も機能コンポーネントのコンフィギュレーションを知らせる、 $\Psi C n$ を含むノードに対するメッセージ。機能コンポーネントのコンフィギュレーションとは、目的のノードまたは一組のノードが ($\Psi R p$ 、 $\Psi R f$ 、 $\Psi R m$ 、 $\Psi T d$ 、 $\Psi R d$) のどの機能で構成されているかを示す。このインターフェイスメッセージは、ネットワークにあるどのサービス広報/探索方法でも一般に使用することができる。

【0069】

2 ΨR も他のコンポーネントを目覚めさせる (起動する) ための $\Psi C n$ へのメッセージまたは信号。

【0070】

3 ΨR も他のコンポーネントを停止する (ディアクティベートする) ための $\Psi C n$ へのメッセージまたは信号。

【0071】

4 他の $\Psi R m$ コンポーネントをいつ起動/停止するかを知るためタイマー（物理層の情報）を監視するための $\Psi C n$ へのメッセージ。

【0072】

5 $\Psi R p$ 、 $\Psi R f$ 、 $\Psi R m$ （これらのコンポーネントは最初に起動されている）を実行するスケジューリングのためのタクティクスを含むアプリケーション層からのメッセージ。

【0073】

6 タイマー値を取得する。

【0074】

7 タイマー値を設定する。

【0075】

以下の説明において、「入力」とは、 $\Psi R m$ の他のコンポーネントの一つから $\Psi C n$ に送られる情報を意味し、「出力」とは、 $\Psi C n$ から $\Psi R m$ のコンポーネントの一つに送られる情報を意味する。 $\Psi C n$ と $\Psi R m$ の他の主要な機能コンポーネントに共通な情報（リクエスト、ステータスレスポンス等）について、それぞれメッセージが定義される。現在定義されているメッセージについては以下に説明する。 $\Psi C n$ と他の $\Psi R m$ コンポーネント間の他のインターフェイスについても、以下に説明する。本明細書において、「アレイ」、「リスト」、「コンポーネント」、その他の言葉が使用されているが、特定の構成を前提とするものではない。それゆえ、ソフトウェアの設計者が「アレイ」を、正式に定義されたアレイ、リンクされたリスト、2進木その他のコンピュータ科学上の構成に実装するかについては、本明細書において特定するものではない。その決定は、本出願の教示を実装する者が決めればよい。

【0076】

アクティブな $\Psi R m$ コンポーネント（ $T n$ 、要求者ID、Ack、コンポーネントリスト）メッセージは、起動すべきコンポーネントを含むターゲットノードのネットワークID（IPアドレス、ATMアドレス等）である $T n$ を含む。要求者IDは、その起動要求をしている $\Psi C n$ を含む要求元ノードのID（IPアドレス、ATMアドレス等）である。Ackは、もしTRUEに設定されていれば、要求されたコンポーネントごとの起動が成功したかどうかの明示的な通知をターゲットノードに要求する。FALSEに設定されていれば、ターゲットノードはそのような通知は送らない。コンポーネントリストは、起動すべきターゲットノードのコンポーネントのリストである。

【0077】

$\Psi R m$ コンポーネント起動（ $T n$ 、コンポーネントリスト）メッセージは、ターゲットノードの現在起動されている $\Psi R m$ コンポーネントを意味する。このメッセージはネットワーク内のいずれの認容されたノードに送ってもよい。 $T n$ は起動された $\Psi R m$ コンポーネントを含むターゲットノードのネットワークID（IPアドレス、ATMアドレス等）である。コンポーネントリストはターゲットノード上で現在起動されているコンポーネントのリストである。ディアクティブな $\Psi R m$ コンポーネント（ $T n$ 、要求元ID、Ack、コンポーネントリスト）メッセージは、ディアクティブされるコンポーネントを含むターゲットノードのネットワークID（IPアドレス、ATMアドレス等）として $T n$ を含む。要求元IDは、このディアクティブ要求をしている $\Psi C n$ 機能を含む要求元ノードのID（IPアドレス、ATMアドレス等）である。Ackは、もしTRUEに設定されていれば、要求されたコンポーネントごとにディアクティブが成功したかどうかターゲットノードから明示的な通知を要求する。もしFALSEに設定されている場合は、ターゲットノードはそのような通知は送らない。コンポーネントリストは、ターゲットノード上でディアクティブされたコンポーネントのリストである。

【0078】

$\Psi R m$ コンポーネントディアクティブメッセージ（ $T n$ 、コンポーネントリスト）は、ターゲットノード上で現在ディアクティブされている $\Psi R m$ コンポーネントである。このメッセージは、ネットワーク内のどの認容されたノードに送られてもよい。 $T n$

は起動された ΨR もコンポーネントを含むターゲットノードのネットワークID（IPアドレス、ATMアドレス等）である。コンポーネントリストは、ターゲットノード上で現在起動されているコンポーネントのリストである。ディアクティベーション要求をしているノードは、ターゲットノード上でどの ΨR もコンポーネントが起動されているか知っているものと仮定する。それゆえ、このノードやその起動について同じ知識を有しているその他のノードは、ターゲットノード上のすべての ΨR もコンポーネントが適当にディアクティベートされたかチェックすることができる。

【0079】

ΨR_p に対する ΨC_n のインターフェイスにより、予測ルート（ T_n 、要求元ID、 SDS_Set ）メッセージは、実際の予測を監視するターゲットノードのネットワークID（IPアドレス、ATMアドレス等）である T_n を含む。要求元IDは、この予測要求をしている ΨC_n 機能を含む要求元ノードのID（IPアドレス、ATMアドレス等）を含む。 SDS_Set は、ルートの予測要求がされている一組のソースデスティネーションサブセット（ SDS ）である。

【0080】

ΨR_f に対する ΨC_n のインターフェイスとして、ルート障害予測メッセージ（ P_n 、コンポーネントリスト）は、一つまたはそれ以上のルート障害ノードのネットワークID（IPアドレス、ATMアドレス等）である P_n を含むメッセージである。自動的に ΨR_m に予測されたルート障害の解決法を予測するよう要求するための ΨC_n からの命令を P_n が受けなければ、 P_n は、予測されたルート障害をどうするかを決定するため ΨC_n から指示を受けなければならない。 ΨC_n は、そのような状況においてアプリケーションのデマンドを含めネットワークに関してより広い視野を有しているので、 ΨC_n にこの状況を制御させるためである。

【0081】

オートリペア予測ルート障害メッセージ $A_l t R_t (P_n)$ は、予測されたルートおよび予測されていないルート両方に影響するネットワークノード・リンク条件をモニターし、ルート障害を予測し、 ΨR_m に適当なルート維持法を予測させ適当な場所にこの方法を記憶するノードのネットワークID（IPアドレス、ATMアドレス等）である P_n を含む。もし当該方法が代替ルート（障害が発生するルートへの簡単な変更も含む）の使用であるとの予測である場合、予測された代替ルートは、適当なルートテーブルまたはキャッシュに追加されるが、実際に必要とされるまで起動されない。もし当該方法が、既存のルートの簡単な変更を含め、代替ルートの探索や使用でない場合は、 P_n は ΨR_m を用いてルートを自動的に修復しない。これらの場合、 ΨC_n は、ケースバイケースでルート修復の許可を直接管理し、これらの修復を取り扱うリソースを有するいずれかのノードに修復を指示する。適当な維持方策としては、例えば、送信パワーを上げたり、または正しいタイミングで受信ノードの感度を上げたりすることがある。この種の変更の制御を自動的に ΨR_m のようなスレーブプロセスに任せるのは好ましくないかもしれない。それゆえ、そのような場合、 ΨC_n は、 P_n にはこの種のルート維持を自動的に実行させず、未来のある時点で障害が発生すると予測されるリンクに直接接続されているノードに、送信パワーを上げるか受信感度を上げるかして維持するであろう。これらはすべて未来における適当な時に行わねばならず、さもないとバッテリーを使い切ったり他の通信と干渉したりする好ましくない副作用が生じるおそれがある。

【0082】

ΨT_d に対する ΨC_n のインターフェイスとして、エグゼキュートグローバルトポロジー更新（ T_n 、要求元ID、期間、 Ack ）メッセージがあり、このトポロジーの更新を実行するように指示されたターゲットノードのネットワークID（IPアドレス、ATMアドレス等）である T_n を含む。要求元IDは、このグローバルトポロジー要求をしている ΨC_n 機能を含む要求元ノードのID（IPアドレス、ATMアドレス等）である。期間は、 T_n がグローバルトポロジー更新を実行するネットワークシステムバースックロックの整数倍である。もし期間が0であれば、 T_n はグローバルトポロジー更新を一度だ

け実行し、別のメッセージを明示的に受け取らなければ再度実行することはない。Ackは、TRUEに設定されている場合、更新が一度きりのイベントとして実行されたとき、または周期的なイベントとして実行されたときに、グローバルトポロジー更新が成功したことをターゲットノードが明示的に通知することを要求する。FALSEに設定されている場合、ターゲットノードは通知を行わない。

【0083】

グローバル・トポロジー更新完了 (Tn) メッセージは、ターゲットノード上の現在ディアクティブ化されたΨRもコンポーネントを指す。このメッセージは、ネットワーク内の権限を与えられたノードに送られる。Tnはアクティブ化されたΨRもコンポーネントを有するターゲットノードのネットワークID (IPアドレス、ATMアドレス) である。グローバル・トポロジー更新停止 (Tn, RequestorID, Ack) メッセージは、グローバルトポロジー更新の実行を停止するよう指示されたターゲットノードのネットワークID (IPアドレス、ATMアドレス等) であるTnを含む。RequestorIDはグローバルトポロジー要求を出しているΨCn機能を有する要求元ノードのID (IPアドレス、ATMアドレス等) である。Ackは、TRUEに設定されている場合、グローバルトポロジー更新を停止したターゲットノードから明示的な承諾を要求する。FALSEに設定されている場合、ターゲットノードは承諾を送らない。トポロジー・マイクロバースト実行 (Tn, RequestorID, NumBursts, Period, ACK, RSSP_List) メッセージは、トポロジーマイクロバーストを実行するように指示されたターゲットノードのネットワークID (IPアドレス、ATMアドレス等) としてTnを含む。RequestorIDはトポロジーマイクロバーストを要求しているΨCn機能を有する要求元ノードのID (IPアドレス、ATMアドレス等) である。NumBurstはネットワークの同一の限定されたエリアからのトポロジーのサンプル数である。PeriodはTnがトポロジー更新を実行するネットワークシステム基本クロックサイクルの数 (整数) である。NumBurstが1に設定されている場合、Periodは無視される。Ackは、TRUEに設定されている場合、ターゲットノードに、一回限りであるか周期的に繰り返すかに係らず更新が実行されるたびに、マイクロバーストトポロジー更新が成功したことを示す明示的な承諾を要求する。FALSEに設定されている場合、ターゲットノードは承諾を送らない。RSSP_Listはトポロジー更新が要求されているネットワークの部分の全体 (全ネットワークでもよい) をカバーする一組のRSSPである。

【0084】

トポロジーマイクロバースト要求状態 (Tn, Status) メッセージは、起動されたΨRもコンポーネントを有するターゲットノードのネットワークID (IPアドレス、ATMアドレス等) としてTnを含む。リクエストが完了したときにはStatusは1にセットされる。まだのときはStatusは0にセットされる。リクエストが失敗したときにはStatusは-1にセットされる。トポロジーマイクロバースト実行メッセージにおいてAckがTRUEにセットされなければ、中間状態または最終状態のレポートがTnに送られることはない。

【0085】

ΨCnアルゴリズムにおいて、次のステップを使用することができる。

【0086】

1 外部要因が、ΨRもその他のコンポーネントを起こすためにΨCnにシグナルを送る。

【0087】

この外部要因には、ハイブリッドネットワークにおいて一つのルーティング方法から別のルーティング方法にスイッチするために使用されるメカニズムを含んでもよい。

【0088】

2 ΨCnが、ΨTd、ΨRp、ΨRd、ΨRf、およびΨRmをインアクティブ状

態から起こすためにシグナルを送る。

【0089】

3 ΨC_n が、アプリケーション層により特定されたタクティクスにより ΨR_p 、 ΨR_f 、 ΨT_d （グローバル更新のみ）、および ΨR_m の実行を最初にスケジューリングする。

【0090】

スケジューリングの例としては、周期的なものや、ミッションプランによる非周期的なもの、ネットワークの一部におけるQoSの悪化やノード濃度の急激な変化のような様々なネットワーク条件に基づく非周期的なもの、などがある。

【0091】

4 ΨR_p 、 ΨR_f 、 ΨT_d （グローバル更新のみ）、および ΨR_m は、上記の選択されたスケジューリングプランにより実行される。

【0092】

5 ΨC_n は、ある頻度（トポロジーマイクロバースト）で限定エリアのトポロジー更新をするように ΨT_d に指示するよう、 ΨR_p から要求を受け、その後その要求を処理する。

【0093】

6 ΨC_n は、グローバルトポロジー更新レートを変更するよう、 ΨR_p またはアプリケーションから要求を受け、その後その要求を処理する。

【0094】

7 ΨC_n は、 ΨR_p 、 ΨR_d 、 ΨR_f 、 ΨR_m 、および ΨT_d を停止するか完全にディアクティベートするよう、外部信号により指示されるまで、 ΨR_m のフローを監視する。

【0095】

8 ΨR_m は実際に停止していなければ、ステップ1に戻り、それ以外の場合は停止する。

【0096】

ミッションやノードの動きデータ履歴などのデータは、未来のある時点における二つのノード間の通信の必要性を予測するために使用される。 ΨR_p はこの必要を満たすため、ルートが実際に必要とされる時点においてネットワークがトポロジー的にどう見えるかを様々な情報に基づき予測し、その指定された未来の時間において完全なルートが予測できる確からしさを判断し、全ルートを予測するのが困難であると思われる場合に信頼性高く予測できる全ルートの部分を特定する。

【0097】

このセクションで説明した予測エンジンは、 ΨR_f の基本予測エンジンとしても使用されるが、 ΨR_p と ΨR_f の目的は異なるので、両エンジンを覆うロジックは異なる。予測手段が局所的予測および大域的予測を両方とも行う。局所的予測には、新しいルートの必要性を予測するため、ミッションプランなどのアプリケーション情報を使用する。その他の局所的予測としては、ノードおよびリンクの安定性がある。安定性タイプの予測は、他のリンク／ノード計量とともにトポロジー更新および／またはノードビーコンを経て他のノードに伝達される。たとえば、これらの計量はアドホック・オンデマンド・ディスタンス・ベクトル（AODV）やダイナミック・ソース・ルーティング（DSR）などの「従来の」MANETリアクティブルーティングスキームへのルート応答（route reply）として返すこともできる。これらの安定性予測は、必要な頻度のトポロジー更新を適応的に管理するために使用される。

【0098】

帯域的予測は多数の特徴を有している。 D_n への様々なルーティングパスの安定性の予測は、トポロジー更新やビーコン送信により受け取ったリンク安定性を集積することにより、あるいはルート応答（route reply）により得ることができる。これらのメカニズムによりルーティングパスの安定性を取得することにより、ネットワーク領域

を低安定から高安定まで分類することができる。ネットワークの安定なエリアは、より安定でないエリアより安定なルートや部分ルートをサポートしやすい。「低い」および「高い」という言葉は、大域的安定性のある程度よく予測するには「ファジー」であると思われる。

【0099】

これらの大域的予測はサービス品質 (QoS) にも資するであろう。QoS ネットワークコンポーネントは、 ΨR の予測を使ってルート障害の頻度や、要求されるクラスのサービスをサポートするのに必要なルートの数を決定することができる。それゆえ、アプリケーションがサービスの QoS クラスを必要とする場合、設計者が ΨR の予測能力を使用するならば、ルーティングコンポーネントと QoS コンポーネントの間の結びつきは強くなるであろう。確かに、このように二つのコンポーネントが結びつくと、QoS 計量に基づかないで探索されたルートに QoS を適用するのとは逆に、QoS ベースのルーティングスキームとなる。

【0100】

一般的に、未来における実際のルートの一部であるルートセグメントは、未来における完全ルートよりも頻繁に予測される。その理由は3つある。第1に、MANETのような高速ダイナミックネットワークにおいては、頻繁なトポロジーの変化は、ルートセグメントと呼ばれる選ばれた、比較的安定なルートの一部よりも、 S_n から D_n までの予測されたルート全体が分解されることの方が多いたことを意味している。前述のとおり、これらのルートセグメントは付随する境界以外では、 (pS_n, pD_n) のペアにより特定されるであろう。言い換えると、概念的にはルートを確立し利用するのに必要な時間より予測を安定なものにしておく最も高い確率は、全ルートではなくルートセグメントを予測することにより達成されている。選択されたルーティング計量または測定法によって、 S_n に各セグメントのバウンダリノードは pS_n とされている。ルートセグメントのターミネーティングバウンダリノードは pD_n である。 S_n または D_n がある予測されたルートセグメントの一部であるなら、それらのノード (プロキシではなく) は、予測されたルートセグメントを形成する。これにより、 (S_n, pD_n) または (pS_n, D_n) という形のルートセグメントができる。

【0101】

所望のペア (S_n, D_n) のために予測プロセスを制御しているノードは、全ルートを起動する必要があるときまでに、全ルートを探査し確保しておけるように、好ましくはこのセグメントされたルート予測を追跡し管理する。このルートセグメント予測追跡管理機能は、予測要求をした ΨC_n コンポーネントの重要な一部である。

【0102】

第二に、時間的な制約により未来におけるルートの探索ウィンドウが制限されることもある。タクティクスとして価値のあるルートセグメントは、未来におけるルート探索プロセス全体を短縮するために選択されたノードのルートテーブル/キャッシュに予め探索され記憶 (preload) することができる。未来において必要とされるルートを完全に探索する時間は十分ないかもしれないが、これらルートのセグメントを探索しておく時間は十分ある。ここでは、特定のルートを探査するための時間が主要な要因である。

【0103】

第三に、ネットワークのバンド幅が、ルート予測をする現在の時間スロットにおいて重要な制約になることもある。したがって、ルート探索プロセスは、ネットワークにオーバーヘッドトラフィックを追加するので、時間短縮の候補となる。ここで困難なことは、このバンド幅を制限されたスロット内で、「適正」な数のルートセグメントのみを見つけるか、またはピーク時間内により多くのトータルネットワークバンド幅を要するルート全体を見つけるよう試みることにより、所定時間内にルート探索のオーバーヘッドを最小化することである。

【0104】

以上の説明から、ルート予測を選択するアプリケーションのタクティクスは、予測に使

用するため選択されたルートセグメントから選ばれることが分かる。以下に説明するとおり、 $\Psi R f$ と $\Psi R m$ は、問題が発生する前に多くのルートを特定し修復し、または少なくとも障害に対する反応時間を短縮する。しかし、ルートまたはルートセグメントの維持を頻繁に行うと、時にネットワークのスループットが危険なポイントまで下がることもある。したがって、一般的に最善の戦略は、期待される安定性に基づき予測されたルートセグメント内のノード数を制限して、ルート修復の必要を減らすことである。

【0105】

$\Psi R p$ は、一部は最適リンク状態ルーティング(OLSR)等の現在のルーティング方法のものに類似したグローバルおよびローカルなネットワークトポロジー更新を使用して、ネットワークのトポロジー変化を追跡する。 $\Psi T d$ については後に説明する。

【0106】

潜在的な物理的制約(消費電力、プロセッサのタイプ、メモリー容量、通信能力等)や情報アクセスにおける制約のため、すべてのノードにおいて $\Psi R p$ がイネーブルとされていなくともよいし、その必要もない。これは、 $\Psi R m$ ネットワークにおいて $\Psi R p$ の能力を有したノードの数を制約する理由の一つである。これらの「有利な」ノードは、 Ψc (予測制御ノード)と呼ばれ、未来のある時点において必要であると予測されたルートまたはルートセグメントを獲得する(ルートテーブル/キャッシュから検索するか一から探索する)

ため、他のノードまたはそれ自身に要求することができる。もしこの要求が送られたノードにルートまたはルートセグメントがあれば、その要求は、ルートが必要とされた後所定の時間が経過するまでそのルートが失効しないようにノードに要求する効果も有する。一般的なMANET環境においてこの予測手段が有効であるためには多くの基礎的要件を満たさなければならない。以下のリストは順不同である。

- 1 予測手段はオンタイムで実行できなければならない。
 - ・ ネットワーク内の小さな変化のすべてに追従するリアルタイムの実行は一般的に必要な。小さな変化でもクリティカルな場合にリアルタイムで実行する。
 - ・ ハードウェアとバンド幅の改善は特定のアプリケーションでは役に立つが、最も広い範囲のアプリケーションでは役に立つとはいえない。
- 2 広い範囲で適用可能な予測手段は、信頼できる予測をすることができる前に多数のデータ(100データポイント以上)の収集を要求してはいけない。
 - ・ リアルタイムを考慮する以上のものである。多数のデータを集めることは、すべての意味のある収集は少しのデータポイントにおいて発生するので、しばしば可能でさえない。
 - ・ ネットワーク内で多数のノードが同時に多量のデータを集めることは、過大なオーバーヘッドにつながり、データのバンド幅とネットワークの素早い反応を脅かす。
- 3 予測手段は、関連するネットワーク条件が設計者が期待する基準を「幾分」超えているときであっても、信頼できる予測をすることができるという意味で強くなければならない。
- 4 予測手段は複雑である必要はないが、予測手段自身の振る舞いは、予測手段が仕えるアプリケーションの許容できる予測可能性の範囲内になければならない。
- 5 このストラテジックかつ基本的な予測手段の技術的土台は、このリストの上記要件の優先順位に係らず、機能するのに十分強くなければならない。
 - ・ この優先順位は、アプリケーションごとに変化する。

【0107】

ダイナミックに変化するMANETの問題を予測する予測手段の候補は、ファジー論理、ディジションツリー、ルールインダクション、またはこれらの組み合わせに基づく。ノンパラメトリックな統計的分析または決定論的な分析は、データを実際の予測手段に送る前に前処理するのに使用される。

【0108】

上記のセクションで概説した要件に基づき、 $\Psi R p$ 予測手段法は、(ルールインダクシ

ョンではなく) ファジールールに基づいたアプローチを使用する。本明細書中の $\Psi R p$ のサンプルは、アプリケーション層からの決定論的ノード展開情報、時間経過におけるノードの実際の動きをフォーキャストする統計的に導かれた数値的データ、およびリンク安定性情報を使用する。一般に、 $\Psi R p$ を適用する場合、本明細書中に例示したタイプのデータはルート予測に大変に有効であるが、これらに限らず複数のタイプのデータを使用することができる。

【0109】

$\Psi R p$ は9つのコンポーネントからできている。そのコンポーネントとは：

- 1 データベース ($\Psi D b$)
- 2 サンプリング、データベース更新、およびタクティクス ($S D U T$)
- 3 知識ベース ($\Psi K b$)
- 4 サンプリング、知識ベース更新、およびタクティクス ($S K U T$)
- 5 統計的数値的フォーキャスト ($S N F$)
- 6 情報構造インターフェイス ($I S I$)
- 7 ファジファイヤ $F u z z i f i e r$ ($\Psi F z$)
- 8 推論エンジン ($\Psi R e$)
- 9 デファジファイヤ $D e f u z z i f i e r$ ($\Psi D f$)

これらのコンポーネントについては、 $\Psi R m$ の予測機能としてこれらのコンポーネントを使用するアルゴリズムとともに以下に説明する。

【0110】

データベースは、ネットワークが実際に動作している間に収集されたデータセットと、予め組み込まれたデータとを含む。データベースは、ネットワークの物理的特性および動作特性を典型的に表現する情報を典型的には含む。あらかじめ組み込まれたデータは、ノードの物理的特性を示す定数またはデフォルト値である。データの形式は数値であってもテキストであってもよい。データベースの情報は、主に物理層およびアプリケーション層から得られ、それらに関するものである。より正確で使いやすい予測を行うために、可能であれば取得されデータベースに入れられる情報を以下に示す。

- 1 ネットワーク内に最初にあるノード数
- 2 ネットワークで許容されるノードの最大数 (サンプリングされていれば、不定期的に)
- 3 各ノードの位置 (頻繁にサンプリングされる)
- 4 各ノードの可能なまたは許されている最大速度
- 5 各ノードの I D — 多くの場合 I P v 4 / v 6 アドレスまたは A T M アドレス (サンプリングされる)
- 6 通信のために使用可能な各ノードのパワー容量
- 7 ノード通信パワー利用率
- 8 通信のために現在残存しているパワー容量 (サンプリングされる)
- 9 予定された時刻におけるノードの期待位置
- 10 予定された時刻におけるノードの期待位置それぞれの確立
- 11 いろいろな時刻において相互に通信していると計画されているノードのペアまたはグループ
- 12 ノードの所定の動きパターン
- 13 サービスを離脱すると計画されているノード
- 14 サービスに加わると計画されているノード
- 15 所定の必要なソースルーティングパス
- 16 ノードの動きの許容された位置境界
- 17 ノードの移動率 — 速度と加速度 (頻繁にサンプリングされる)
- 18 ノード送信距離
- 19 ノード受信距離
- 20 アンテナタイプ (多方向性、方向性、単方向性)

21 アンテナが現在示している方向（方向性である場合）

22 計画された未来におけるアンテナの示す方向

23 リンクの品質（安定性、信頼性、入手性等）

これらのパラメータ、すなわちパワー関連の情報は、 ΨR で一般的であり、層（layer）特有の情報を処理し ΨR の $\Psi R p$ とその他のコンポーネントが必要とするパラメータを出力するカスタムインターフェイス（図6のインターフェイス参照）により導かれる。このタクティクスにより、 ΨR とそのすべてのコンポーネントは、すべてのタイプのハードウェア、MAC、ミッションプラン等からなるいかなるタイプのネットワークにもトランスポート可能となる。特に、 $\Psi R p$ は、使用する前にこれらパラメータの一部をファジー値に変換する（fuzzify）。

【0111】

$\Psi R p$ はルーティングのための予測であるから、サンプリングの戦略は、収集される情報のタイプと情報の有効性に対するデータベース更新の必要性をサポートしなければならない。典型的なタイプの情報は、上記のデータベース情報のタイプで「サンプリングされる」と示したものである。多くのノードが大きなデータベースを保持しネットワーク中の情報をサンプリングしなければならないとすれば、ネットワークのバンド幅の大部分を消費し、各ノードのメモリの過半を占有し、ノードのパワーを消耗することとなる。それゆえ、データベースを「軽量化」することは、複数のノードにまたがるデータベースを効率的に適時に同期させるのと同様に重要である。

【0112】

ノードの位置データは2つのタイプのサンプリングメカニズムで取得される。各メカニズムは2つの異なった時間スケールまたは周期でサンプリングを行う（低頻度低解像度と高頻度高解像度）。第1のサンプリングメカニズムは、リンクレベルの解像度で相対的なノード位置を取得するルート探索技術を使用する。第2のサンプリングメカニズムは、位置データが適用されるノード、またはネットワーク内の他のノードのために位置データを送信するように指定された他のノードのいずれかにより直接送信された座標位置データを使用する。

【0113】

$\Psi R p$ は、 $\Psi T d$ に現在の低い頻度で「低頻度」グローバルトポロジー更新を行うよう要求する。実際のプサイアクティブトポロジー探索プロセスについて詳細に説明する。 $\Psi R p$ は、ルートとルートセグメントを予測するノードの部分集合を特定するために、低頻度で取得した位置データを使用する。この全般的な低頻度の推定レートは、アプリケーションに依存し、設計者が与えた所定のレートで初期化される。初期化後、このレートは、 $\Psi R p$ の結果がアプリケーションに信頼性できるルーティングを適時に供給できるかを推定できるように、必要に応じて修正される。

【0114】

$\Psi R p$ は、 $\Psi T d$ に現在の高頻度で「高頻度」グローバルトポロジー更新を行うよう要求する。 $\Psi R p$ は、その部分集合に所属するすべてのノードの推定ノード速度（速さと方向）を算出するために、ネットワークの特定の部分集合の高頻度で取得された位置データを使用する。この高頻度のレートはアプリケーションに依存し、設計者が与えた所定のレートで初期化される。初期化後、このレートは、アプリケーションに対して信頼できるルーティングを適時に供給できるかを推定した $\Psi R p$ の結果に応じて修正される。サンプリングレートは、位置取得の頻度が高くなれば上昇し、データ取得の頻度が低くなれば低下する。

【0115】

各ノードは、独立にデータを収集し、ローカルなデータベースに記憶する。一般的に、各ノードのデータベースは、データの値が他のノードのデータベースと異なるだけでなく、収集するデータのタイプも異なる。一のノードの $\Psi R p$ は、一般に、インテリジェントで十分な情報にもとづく予測をするために、計画的に、他のノードのデータベースに含まれる情報を得る必要があるため、データの同一性を確保する必要から、データベースは

相互に同期していなければならない。これは、データベースの一部は、ローカルノードメモリ資源を節約するため、多数のノードに分散していてもよいが、一方、他の情報は選択された部分集合の各ノードが同じものを持っていなければならない。この同じ情報は、リアルタイムの予測スループットを維持するために、ノードによる特定のアクセスには依存しないレートで更新される。

【0116】

ΨRpの知識ベースは、次の知識符号化情報の一般的なカテゴリーからなる：一般システムファジーIf-Thenルール、特定アプリケーションファジーIf-Thenルール、データベースを配置するのに使用するサンプリングストラテジー、複数のノードでデータベースを同期させるために使用されるタクティクス。

【0117】

ΨRpの統計的数値的フォーキャスト部分は、多様な時間スケールにおいて算出された数値的フォーキャスト（予測）をするため、古典的指数重みつき移動平均（*exponentially weighted moving average*；EWMA）一変量フォーキャストのHolt-Winters拡張を使用する。Holt-WintersやEWMAなどの技術は、これらのタイプの技術には適当な統計的モデルがないので、「アドホックな」技術である。それにもかかわらず、そのようなフォーキャスト方法是非常に便利で実用的であることが、実際に証明されている。各時間スケールの結果は、ΨRp予測全体の異なる数値的入力として使われる。簡単のため、二つの時間スケールだけが、ファジフィケーションマッピング（*fuzzification mapping*）への主要な3つの入力のうちの二つとして使われ、統計的数値的フォーキャストとなる。予測ノードに、十分なリアルタイムまたはオンタイムのデータ入力とともに、十分な計算パワーがあれば、アプリケーションの必要に応じて予測結果を向上させるために、時間スケール（複数時間スケール粒度）を増やすことができる。

【0118】

一つ目の入力は長時間間隔フォーキャスト（LTIF）であり、二つ目の入力は短時間間隔フォーキャスト（STIF）である。ファジファイヤへの三つ目の入力は、ΨRpの数値的に算出されたフォーキャストに直接基づくものではなく、知識ベースから直接の入力として後述する。LTIFは、ノードの動きとリンクの安定性等のデータに全面的に基づく、実際のルートが使用されるようになるずっと以前に取得されたフォーキャストである。STIFは、LTIFに使用すると同じデータに全面的に基づくフォーキャストであるが、STIFは実際のルートが使用されるようになる直前に取得されたデータにのみ適用されることが異なる。STIFとLTIFの加重結合が最終的な数値的フォーキャストとなる。

【0119】

一般的に、要求されたルートが予測された直後は、これらの重みは、LTIFの時間により依存し、STIFには大きくは依存しないが、予測されたルートが初めて使用される頃にはLTIFよりSTIFに大きく依存するようになる。この重みは3通りの基本的な方法により設定することができる。1）ノンパラメトリック統計的推定、2）パラメトリック統計的推定、3）固定的決定論的値。

【0120】

時間スケールに対するHolt-Wintersフォーキャストで使用される一組の方程式を示す。

【0121】

【数1】

$$(1) \hat{Y}_{t+p|t} = M_t + B_t P + C_{t+p|t} \quad P = 1, 2, \dots$$

$$(2) M_t = \lambda_0 Y_t + (1 - \lambda_0) (M_{t-1} + B_{t-1})$$

$$(3) B_t = \lambda_1 (M_t - M_{t-1}) + (1 - \lambda_1) B_{t-1}$$

$$(4) C_t = \lambda_p (Y_t - M_t) + (1 - \lambda_p) C_{t-p} \quad 0 < \lambda_0, \lambda_1, \lambda_p \leq 1$$

【0122】

【数2】

$$\hat{Y}_{t+p|t}$$

は M_t の値が与えられた場合の、現在時点 t から P の期間だけ未来の予測である。ここで、 M_t は時刻 t における Y の現在価値の予測値である。 B_t は、予測方程式の傾きであり、データ系列の局所的な線形トレンドを示すと解釈される。 C_t は「周期的」な項であり、この場合、加法的なものである。一部の周期的な項は乗法的であってもよく、その場合方程式(1)はこの乗法性を反映するように変わる。説明のため加法的な場合を想定した。 λ_0 、 λ_1 、 λ_p は、上記の範囲における平滑化定数である。この再帰的な方程式によれば、1期間前の結果を再利用して、上記方程式のそれぞれについて現在期間の結果を計算することができる。

【0123】

L T I FとS T I F間の数学的な相違点は、各期間の長さである。実際的な違いは、データと知識ベース入力を与えられたとして、予測ノードとネットワークの計算能力およびバンド幅に過度な負荷を掛けずに最適な予測に向かう能力である。異なる時間スケールでサンプリングと処理を行う方が、最も細かい時間スケールのレベルでサンプリングと処理を行うと取得して処理するデータの量が大きくなっていくことよりも好ましい。複数の時間スケールを使うと、自然な時間スケールまたは頻度において最もたやすく現れる、ネットワーク(ノードとリンク)の振る舞いの長所をすばやく取得して識別できることである。L T I Fの時間間隔がS T I Fの時間間隔の整数倍でなければならないという制約はない。一般的にS T I FとL T I Fは自由に決定できるが、それぞれの期間の長さは、アプリケーションの必要に応じて設定した方がよい。

【0124】

基本的には、 $\Psi R p$ のデータの取得と分析は、時間ドメインに限られるわけではない。 $\Psi R p$ を周波数ドメインで定式化することも可能であるが、しかしH o l t e r s方程式から周波数ドメインの等価な方程式への変更を意味する。時間ドメインにおいて $\Psi R p$ の概念と機能を表すのに必要な定式化の本質を捉えることができるので、本明細書ではこのことには触れない。

【0125】

情報構造インターフェイス(I S I)は、ネットワークと $\Psi R p$ の外部コンポーネントと内部コンポーネントとの結合されたインターフェイスである。外部インターフェイスについては後で説明する。内部インターフェイスは、 $\Psi R p$ の8つの主要なコンポーネントの2つまたはそれ以上を相互に接続するインターフェイスである。I S Iは、 $\Psi R p$ に、またはその中で通信されているデータと知識の表現形式に主に係る。このデータと知識のよりよい表現は、より効率的で理解しやすい情報輸送と $\Psi R p$ 内の処理を意味する。特筆すべきI S Iコンポーネントの1つは、I P v 4 / 6プロトコルの情報を抽出し、多様な $\Psi R p$ コンポーネントにより認識される形式に変換するインターフェイスである。このI S Iコンポーネントの仲間は $\Psi R p$ 情報からインターネットで転送されるI P V 4 / 6パ

ケットを構築する。

【0126】

ATMやフレームリレーのような他のタイプのプロトコルのために、他のインターフェイスがあってもよい。

【0127】

$\Psi R p$ ファジファイヤは、SNFと知識ベースとから数値情報を取り、ファジー集合で表された「ファジー空間」にマップする。実際には、ダイナミックなネットワーク、特にMANETにおいては、予測問題は、ターゲットとする予測そのものか、またはターゲットとする予測に至るために必要な中間のフォーキャストのいずれかにおいて、統計的に数量化できない曖昧さを有している。例えば、ミッションプランは、未来のある時点において、ある(S_n , D_n)ペアの間にルートを構築することが必要だとする。複雑な多体相互作用問題において、未来におけるある時間に、中間ノードの候補となるであろうノードの位置と接続性をどのように特定するかが困難である。言い換えると、この問題は特定の目標を有しているが、曖昧にしか知りえない未来におけるノード、リンク、システム状態情報を使わなければならない。

【0128】

Holter-Wintersのようなアドホックな方法を含め、統計的な処理と従来のルールベースのシステムのようなアプローチは、このような問題を扱うには「もろ過ぎる」結果しか生まない。もろさは強さの反対であり、予測手段はターゲットのルートのあいまいな仕様を取り扱う能力において強くなければならないという、前述の説明に反する。本発明は、この問題をファジー空間において、このタイプの曖昧さを取り扱い従来のアプローチのもろさを克服する、適当なファジー論理オペレータを用いて定式化することを提案するものである。

【0129】

ファジー空間マッピングとファジー論理オペレーションは、情報の計算とプロダクションルールの定式化／推定のために使用される。正味の効果は、 $\Psi R p$ をその予測ができるだけ強いものになるようにすることである。数学的に厳格なファジー論理が、入力を結合するために適用され、適当なマッピングを作成する。ファジー論理の別の長所は、計算資源とメモリ資源を少ししか要さず、結果がどのように得られたのか理解するために容易に追跡できることである。

【0130】

推論エンジン($\Psi R e$)は、プロダクションルールを推定し、一つのファジー集合に複数のルールの出力を融合する。このルールは各時間スケールと $\Psi K b$ からの入力の結果として出力される。 $\Psi R e$ の基本的な問題は、従来の推論エンジンと異なり、本来的にファジーであり、ファジー推論エンジンからの出力は、典型的には従来のものにより生成されたものと比較してもろくないということである。

【0131】

デファジファイヤ(Defuzzifier) $\Psi D f$ は、 $\Psi R e$ の出力を、 $\Psi R t$ により使用される適当なフォーキャスト(予測)である数値、数値範囲、または一組の数値にマップする。それ自体 $\Psi R p$ の一部ではないが、 $\Psi R t$ は、より高いレベルのシステム進化特性またはトレンドを判別し、それを $\Psi K b$ 経由で予測プロセスにフィードバックとして使用するため、複数のフォーキャストを収集し、実際の結果と比較してもよい。この追加的な処理アプローチはここでは議論しない。

【0132】

図6に示したとおり、 $\Psi R p$ とアプリケーション層、データリンク層、物理層とは直接インターフェイスしている。 $\Psi R t$ において、 $\Psi R p$ は $\Psi C n$ 、 $\Psi R d$ 、 $\Psi T d$ と直接インターフェイスしている。各インターフェイスについては、以下に説明する。アプリケーション層、データリンク層、物理層から得られた、 $\Psi R p$ が使用する情報は以下の通りである。予定された時刻におけるノードの期待位置、予定時刻におけるノードの各期待位置に付随する確率、予定時刻において相互に通信しているノードの所定ペアまたはグループ

、ノードの所定の移動パターン、サービスからのノードの予定された離脱、サービスへのノードの予定された加入、所定の必要とされるソースルーティングパス、ノードの移動の許容された位置境界、ノード移動レート、ノードの送信、受信距離、ノードパワーソースの残り寿命、アンテナタイプ（多方向性、方向性、一方向性）、アンテナの現在の指向方向（方向性の場合）、予定された未来におけるアンテナの指向方向、リンク寝室（安定性、信頼性、入手容易性等）。

【0133】

ΨRpがΨRdから入力する情報、またはΨRdに出力する情報について以下に示す。ルート探索ステータス（Tn, RequestorID, Status, Term_Node_ID）メッセージはTnとして、ルート探索を実行するように指示されたターゲットノードのネットワークID（IPアドレス、ATMアドレス等）を含む。RequestorIDは、このルート探索要求をしているΨRp機能を有する要求元ノードのID（IPアドレス、ATMアドレス等）。Statusは、要求されたルート全体が探索できたとき、TRUEと設定される。要求が成功しなかったとき、FALSEと設定される。StatusがFALSEのとき、Term_Node_IDは-1に設定されるか、またはRequestorIDと同じ形の他のノードIDに設定される。-1に設定されると、要求されたルートの安定なルートセグメントも探索できなかった。StatusがFALSEで、Term_Node_IDが-1でない場合、探索プロセスによって、実際に要求されたルートまたはプロキシルートのルートセグメントを見つけることができたこととなる。それにもかかわらず、プロキシルートのルートセグメントの方が、実際に必要なルートがまったく探索できないよりよい。

【0134】

ルート発見要求（Sn, Dn, ReqID, RequestorID, ExpTime）メッセージは、Snとして、ΨRp予測により確立する必要があるΨRdにこの要求をしているノードである、本当のターゲットソースノード、または「プロキシソース」ノード（pSn）を含む。また、Dnは、ΨRdにこの要求をしているノードがΨRdの予測により確立する必要がある本来のターゲットデスティネーションか、または「プロキシデスティネーション」ノード（pDn）を含む。ReqIDは、このノードから始まるアクティブルート要求である。RequestorIDはID（IPアドレス、ATMアドレス等）である。ExpTimeは、ターゲットSnと同様にこの要求を受信したノードが、ルートまたはルートセグメントを発見した後、それを陳腐化したものとマークし、削除するまでの時間である。

【0135】

以下に、本明細書に説明したアサイアクティブコンセプトとアーキテクチャを使用してルート予測をする「通常の」アルゴリズムについて説明する。アサイアクティブアーキテクチャとコンセプトとを使用した他のアルゴリズムも可能である。

【0136】

1 ノードとネットワークデータベースをノードとリンクの適当な物理的特性で初期化する。

【0137】

2 ノードとネットワーク知識ベースを適当なファジールールで初期化する。

【0138】

3 ミッションプランで未来における位置が特定されているノードの位置を探し、追跡するためにトポロジー探索を実行する。これは、未来において必要となるルートを予測するプロセスの1ステップであり、後で説明する予測されるルート障害を回避するために未来必要となるルートを予測するのとは異なる。

【0139】

4 未来における位置が明示的には予定されてなく、先験的にも知られていない通信ペアとして、ミッションプランで指定されている（Sn, Dn）ペアの位置を特定し追跡するためトポロジー探索を実行する。

【0140】

5 ネットワークの動作中に収集されたリンク品質データと、所定のプランを入力データとして用いてリンク品質を予測する。このステップは、ルート探索プロセスにおいてよいルートを予測するためである。

【0141】

6 ネットワークの動作中に収集されたノード品質データと、所定のプランを入力データとして用いてノード品質を予測する。

【0142】

7 予定された (S_n, D_n) ペアの間ノードとして資格基準を満たすノードの位置を予測する。

【0143】

8 未来における位置がミッションプランではなくリアルタイムのトポロジー探索からの入力に基づいて予測される、注目する1つのノードの位置を特定し追跡するためにトポロジー探索を実行する。

【0144】

9 通信ペアとしてリアルタイム要求により指定された (S_n, D_n) ペアの位置を特定し追跡するためにトポロジー探索を実行する。

【0145】

10 動作中に収集したノード品質データと、所定のプランを入力データとして利用してノード品質を予測する。

【0146】

11 アドホック要求 (S_n, D_n) ペアの間ノードとして資格基準を満たすノードの位置を予測する。

【0147】

12 ルート予測要求ノード (P_r) がターゲット予測管理ノード (P_c) にメッセージを送り、指定されたソースノード (S_n) から指定されたデスティネーションノード (D_n) までの未来において必要とされるルートを決定する。

【0148】

13 P_c が、完了するまで予測要求を管理する。

【0149】

14 S_n が、ローカルのルーティングテーブル (キャッシュ) をチェックし、ルートが必要とされる前の時間に渡って安定であるとマークされている、完全なルートまたはルートセグメントを決定する。

【0150】

15 P_c は、有効なグローバルトポロジー情報を読み出し、要求された (S_n, D_n) ペアのための予測を集中する、ネットワークのエリア・オブ・インタレスト (AOI) を決定する。いくつかの (S_n, D_n) ペアが「バッチ」に集まった場合、グローバルトポロジー更新は、単一のグローバルトポロジー更新要求中のすべてをカバーできる。この要求の間にグローバルトポロジー更新がされている場合、グローバルトポロジー更新はP_c の要求が満たされる前に完了される。

【0151】

16 P_c はΨTdに要求し、指定したAOIにおいてトポロジーマイクロバーストを実行する。

【0152】

17 トポロジーマイクロバーストによって得られたデータを使用してHolt-Winters 指数重みつき移動平均線形トレンドをP_c が計算する。

【0153】

18 複数の時間スケールで「周期」ともなうHolt-Wintersフォーキャスト方程式の修正バージョンを使用する。

【0154】

19 例えばミッションプランからのノード位置のような先験的に決定された値を実際の測定値の替わりに使う。少なくとも、修正Holt-Winters方程式中のデータの一部は、ネットワークが動作している間に測定した実際の値でなければならない。

【0155】

20 数値がファジフィケーション(fuzzification)過程を経て「ファジー予測」にマップされる。

【0156】

21 推論エンジンは、知識ベースとファジー予測からの入力を使用して、プロダクションルールを推定し、全ての該当(fire)するルールから生じるファジー出力を一つのファジー集合に集積する。

【0157】

22 デファジファイはファジー結果を修正された数値予測にマップする。

【0158】

プサイアクティブルート探索($\Psi R d$)に関して、ルートとルートの部分は、予測として適当なルートテーブル(キャッシュ)に加えられる。一のノードが、他のノードに情報を送る要求を受けたとき、そのルートは、完全にまたは部分的にすでに探索されており、ソースノード S_n のルートテーブル(キャッシュ)にロードされる。ユーザは、ルート障害が発生したら修復されるとの自信を持つだけでなく、 ΨR もは起こりうると予測されたルート障害をどのように修復するかを、実際に起こる前に考えており、それゆえ修復プロセスはずっと早く進行する。

【0159】

リンクとノードの情報は、必要な期間について完全なルーとまたはルートセグメントが信頼できるように予測可能であるかについての主要な決定要因である。その情報には、安定性、信頼性、入手容易性が含まれる。

【0160】

実際のルート探索は、(S_n , D_n)ルート全体のルートセグメントに適用するリアクティブプロトコルにより達成される。ルート探索要求は、一般に、セグメントの一部ではないいずれかのノードから始まる。しかし、この要求元ノードの「外部性」は要件ではない。このことは、ルート探索が常にターゲット(S_n , D_n)ペアのソースノードから開始される他のアプローチと大きく違っている。この違いの理由は、この未来におけるルートのための未来における S_n は、未来におけるソースノードであることである。これは、未来のある時点においてこのルートを確立する必要があるネットワークノードは、現在この必要性を知る立場にあるノードでは必ずしもないということである。なぜなら、この未来におけるソースノードは、現在はネットワーク内にいないかもしれない、それゆえ、いずれかのデスティネーションノード D_n へのルートをいつか必要とすることを予測する立場にないかもしれない。パワフルなルート予測能力の一つの重要な鍵は、未来におけるルートの一部であっても、ネットワークのノードはこの未来における必要性の知識を有し、この必要性の焦点の一つまたは両方である(S_n , D_n)ペアが、ルート探索要求を受ける前であっても、ルート探索プロセスを開始することができる。これは、プロキシソースノードとプロキシデスティネーションノードを設ける他の主要な理由でもある。

【0161】

特筆すべきこととして、 $\Psi R d$ は、従来のルート探索方法(プロアクティブまたはリアクティブ)が使用するものには依存しない。問題によっては、一つの方法が別の方法より優れているかもしれない。リアクティブ法の場合はアドホックオンデマンドディスタンスベクトル(AODV)、プロアクティブ法の場合は最適リンク状態ルーティング(OLSR)が $\Psi R d$ のデフォルトであるが、決定はアプリケーションまたはシステム的设计者がすることができる。本明細書においては、上記二つのルート探索方法についてだけ言及する。

【0162】

S_n は、ターゲット「プロキシ S_n 」($p S_n$)にメッセージを送り $p S_n$ から「プロ

キシ D_n 」(pD_n)へのルートを確立することで、 ΨR_d を成し遂げる。 (S_n, D_n) ペアのためのルート探索のこのフェーズは、実際の S_n ではなく pS_n に始まり、指定された pD_n に終わる。 (pS_n, pD_n) ルートセグメントは、ノードのローカルメモリ(ルートテーブル/キャッシュ)に記録される。一般に、 pS_n と pD_n はルート探索、ルート維持、およびトポロジ探索の結果として選択される。アプリケーションから受け取った情報から選択されることもある。プサイアクティブルート障害予測(ΨR_f)機能は、リンク障害の起こりやすさ(またはダイナミクス)を推定し、この情報をルート障害の起こりやすさの推定に使用する。リンク障害の起こりやすさの推定には、以下の様々な情報源からの情報を使用することができる: ノードの移動度および軌道、通信パスにある既知の障害物、およびリンク品質の推定および予測。このリンク障害情報は、ルート(一連のリンクにすぎない)障害の集積した起こりやすさを判断するために使用できる。この情報は、実装でどのルーティング方法が選択されているかによって、プロアクティブなやり方またはリアクティブなやり方で収集し分配してもよい。どのアプローチまたはその組み合わせが取られるかによって、このリンク/ルート障害情報は、トポロジ更新を介してまたはルート探索プロセスによってネットワーク全体に分配されてもよい。ルート障害予測情報はプサイアクティブルート維持機能に送られる。 ΨR_f は、そのノードのために統計をとり、その統計を使用して計量を作成する。例えば、推定されたノードシャットダウン・スリープ平均時間(Estimated mean time to node shutdown or sleep mode; EMTNS)、推定された各リンクの近傍ノードへのリンク障害平均時間(Estimated mean time to link failure for each link to a neighbor node; EMTNLF)、および推定されたリンク品質(Estimated link quality; ELQ)などである。EMTNS、EMTNLF、およびELQへの入力値は、例えば、推定されたノード移動度(ENM)およびRF伝播特性などである。計量は、アドホックネットワークのために定義されたHarrisによるQoS計量と一貫したものでなければならない。各ノードは他のノードにこれらの計量を送る。

【0163】

これらの計量は、定期的にあるいはトポロジ更新要求に応じてブロードキャストされるトポロジ更新に含まれる。また、パス上のノードが関連する計量情報を挿入するルート探索パケットやルート応答パケットにも含まれる。これによりパケットサイズは大きくなるが、オーバーヘッド送信の数は少なくなる。パケットのサイズが大きいため、潜在的にはオーバーヘッドトラフィックが急増する傾向にある。ソースノードがパス上のすべてのノードとリンクの計量を知ったら、二つのことが発生する。第1に、ソースノードからデスティネーションノードまでのパスの平均障害時間(Mean Time to Failure; MTTF)を計算することができる。これは (S_n, D_n) ペアおよび (pS_n, pD_n) ペア両方に適用される。第2に、プサイアクティブルート維持(ΨR_m)が、パスのMTTFを通知される。 ΨR_m と ΨC_n は、この情報に応じてどのように対応するかを決定する。

【0164】

ルート R_1 は一連のリンク $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ よりなる。個々のリンクは、例えばリンク障害率 λ_{L_i} (障害回数/秒)により特徴づけられる。リンク障害率には多様な要因が影響している: 例えば、各ノードの移動度、電波伝搬環境、リンクを損なう障害物である。リンク障害率を推定するのに使用される情報は、リンク品質測定やノード移動軌跡情報を含む複数の情報源から導かれてもよい。

【0165】

ΨR_f アルゴリズムは次のステップを実行する。

【0166】

1—各ノードと隣接するノードへの各リンクにおいて、以下の1またはそれ以上の観測結果に基づき、リンク障害率 λ_{L_i} を推定する: 推定された通信パス上のリンク接続性が(ミッションプランから)推定できる隣接するノードの既知の未来におけるノード軌跡

、現在のノード位置および障害物（樹木や建物など）の知識と結びついたノードの動きの外挿に関する知識、リンク品質およびその他の品質の連続的な測定およびこれらの統計的測定に基づいたリンクドロップアウトまでの期待時間の推定などである。

【0167】

２－リンク障害計量を作成する。これはノードからそれに隣接するノードまでの各リンクについての、リンク障害率 λ_{Li} でもよい。

【0168】

３－ルーティング障害計量の作成においてリンク障害計量を使用する。リンク障害計量 λ_{Li} を使うと仮定する。各リンクにおける障害がボアソン過程としてモデル化できれば、一またはそれ以上のリンク障害が起こればルート障害が発生する。ルート R_1 について、ルート障害率 λ_{R1} （障害回数／秒）は、リンク障害は独立な事象であると仮定して以下の式で表される。

【0169】

【数3】

$$\lambda_{R1} = \sum_{i=1}^n \lambda_{Li}$$

ルート障害計量は λ_{R1} である。ルート R_1 のMTTFは $MTTF_{R1} = 1 / \lambda_{R1}$ 秒となる。

【0170】

リンク障害計量は、プロアクティブルーティングプロトコルまたはリアクティブルーティングプロトコルにおいて使用されてもよい。プロアクティブプロトコルにおいては、リンク障害計量の値は、ノードがネットワークの限定されたエリアまたはネットワーク全体にブロードキャストする、いずれのトポロジー更新パケットにも含まれる。リアクティブプロトコルにおいては、各ノードは、ルート探索パケットに応じて推定されるルートの障害率を更新するときに、ローカルなリンク障害計量を使用する。

【0171】

プサイアクティブルート維持（ ΨR_m ）は、ルート性能計量（遅れや容量など）と共に、 ΨR_f により作成されたルート障害計量を受け、ルート障害の起こりやすさの目標と共に、システム性能目標に合うルートを最もよく確保できるかを決定する。新しいルートを発見する平均時間は $1/\mu$ （秒）と表すことができる。この変数の大きさは、ほとんどの興味あるリアクティブおよびプロアクティブルーティングプロトコルに対して、およそ $\mu \approx 1$ または数秒である。それゆえ、リーズナブルなリンクの能力として、リンクの新しいルート（があるとして）は約1秒で発見しなければならない。

単一のルートがある場合、ルートが必要とされるときに入手できるためには、 $MTTR_{R1} \gg 1/\mu$ でなければならない。 $MTTF_{R1}$ が小さすぎる場合、複数のルートを維持すれば、ほとんど常に、デスティネーションへのルートが入手可能であるとするために、全体としてより大きなMTTFを得ることができる。

【0172】

ΨR_m の一部として二つの主要なストラテジーがある。新しい複数のルートを探索するように要求するストラテジーと、複数のルートを使用するストラテジーである。

【0173】

ΨR_m は、必ずしも代替ルートを発見する必要はない。その他のストラテジーも可能であり、状況によっては使いやすい。例えば、リンクの送信パワーを事前に上げたり、リンクに追加のチャネルを事前に割り当てたりすることにより、ルートの障害に対する能力や反発力を引き上げるというストラテジーもある。

【0174】

ΨR_m は、予測的ルート維持コンポーネントと、従来のルート維持コンポーネントから構成される。予測的コンポーネントは、ルートの一部が障害しそうだと予測したときに使用される。 ΨR_f からパスのMTTFが与えられ、パス上のすべてのノードとリンクに対

するMTTFの推定が与えられている。そして、ルーティングテーブル/キャッシュに、少なくとも必要な時間フレームのうち初めの部分の間は安定でありそうな代替パスがあるか判定される。新しいルートが必要な場合、MTTFとして推定された時間の数分の1の時間内に、代替パスを探索する必要がある。ΨRpは、時刻T1の前に代替パスを探索すべきことを通知される。期間に問題があるノードとリンクの組と共に、パスP1が提供される。

【0175】

障害の確率が1のとき、すなわち障害が発生したとき、従来のコンポーネントが使用される。ルートエラー(RERR)パケットによって障害の原因を示す従来の通知が、この場合使用できる。新しいルートの探索は、この通知により開始する。ΨRmは、ルート性能計量(遅れおよび容量等)と共にΨRiが作成したルート障害計量を受け取り、ルート障害の起こりやすさの目標と共にシステム性能の目標も満たすルートをどのように維持するかを決定する。ルート選択にあたり、遅れや容量等の性能計量とルート障害の起こりやすさの間にはトレードオフの関係がある。これを達成するには、遅れと容量の最小許容値を設定し、ルート障害の起こりやすさの最大許容値を設定することである。

【0176】

新しいルートの必要性を予測し、障害が発生したルートを代替するにはいくつかのストラテジーがある：デスティネーションに至る一群のルートを見つけ、いずれかのルートの代替を試みる前に、すべてに障害が発生するまでルートを使用すること。「K」を所望のルートの信頼性を維持するために必要なルートの数として、少なくともK個のルートが常に維持されるように、ルートに障害が発生したら代替する。

【0177】

新しいルートが必要な場合、ΨRdがプロアクティブな手段か、リアクティブな手段により新しいルートを決定する。ルート障害の起こりやすさを分析して、ルート障害の起こりやすさに対する目標を満たすために新しいルートが必要かを決定できる。以下の分析は複数のルートを使用するために用いるストラテジーに応じて、どのようにこれを行うかを示している。ルートに障害が発生しても代替しなければ、MTTFの分析は簡単である。各ルートは同じルート障害率λR(障害回数/秒)を有し、ルート障害はそれぞれ独立であると仮定する。ルートの修復が行われなければ、障害プロセスはマルコフ連鎖としてモデリングできる。N個のルートがある場合、全てのルートのMTTFは、以下の通りである。

【0178】

【数4】

$$MTTF_{All_Routes} = \frac{1}{\lambda_R} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{i}$$

K個のルートだけに障害が発生せずに残る平均時間は、以下の通りである。

【0179】

【数5】

$$MTTF_{K_Routes} = \frac{1}{\lambda_R} \cdot \sum_{i=K+1}^N \frac{1}{i}$$

ルートに障害が発生したら修復するストラテジーを分析することもできる。N個のルートから出発して、ルートが障害したら修復すると仮定すると、問題はやはりマルコフ連鎖として分析できる。安定状態において、k個のルートに障害が発生し修復されない確率は以下の通りである。

【0180】

【数6】

$$\Pr(k \text{ failures}) = \frac{(\lambda/\mu)^k \cdot \binom{N}{k}}{(1+\lambda/\mu)^N}, \quad 0 \leq k \leq N$$

Nおよび λ/μ または λ/μ の値が大きい場合、N個のルートすべてに障害が発生する確率は非常に小さくなる。新しいルートを探索する必要があるときは常に、ルートをいくつ維持しておくことが必要か決定するために、このような計算は適応性のあるアルゴリズムにおける中心的な要素である。

【0181】

複数のルートを使用するための可能な戦略はいくつかある。以下のアプローチの各々は、PSRMで使用できる：

1－与えられたデスティネーションノードについて一度に一つだけのルートをしようする（他のルートは、主要なルートに障害が発生した場合に代替ルートとして使用できる。障害が発生したルートの探索に必要な時間に一時的にルートがなくなる場合もある）。

【0182】

2－複数のパス間で負荷をバランスさせるため、ラウンドロビン等の方式で複数のルートにデスティネーションへのトラフィックを分割することによりデスティネーションまでの機能している複数のルートすべてが使用される。ネットワーク内で負荷をバランスさせた方が有利である。さらに、一つのルートがなくなった場合、トラフィックは他のパスで送られ続けるので、ルート障害が検知されていない間に、トラフィックの一部分のみが消失すればすむ。リアルタイムのトラフィックにとってはQoSが幾分低下し、TCPトラフィックを再送する必要が生じることになる。

【0183】

3－特に高いレベルのQoSを要するトラフィックフローに対しては、一つのデスティネーションへの複数のルートを使用して、そのデスティネーションへの同一のトラフィックを各ルートで重複して送る。このアプローチは、重複した情報を送信するのに追加的な資源を多く使用するという不利益を有する。しかし、重複した情報が他のルーティングパスを経由して送信されているので、一つのルートが消失しても、ルートの障害が検出されるまでの間にデータは消失しないという長所を有している。一旦ルートの消失が検出されると、所望の数の重複するルートを維持するために、追加のルートを探索することができる。

【0184】

4－デスティネーションへの複数のルートを同時に使用し、ネットワーク時間コーディングを使用することにより、複数のルート間でそのデスティネーションへのトラフィックを分割する。このアプローチは、非常に高いレベルのQoSを提供するため、デスティネーションへの同じトラフィックに同時ルートを非常に効率的に使用するため、インターリーブを伴うエラー訂正符号のバリティチェックを使用する。前述のアプローチのように、このアプローチは、重複した情報が別のルーティングパスを経由してFECバリティチェックをして送信されるので、ルート障害が検出される前であっても、一つのルートが消失しても一時的にでもデータが消失することはないという長所を有している。

【0185】

複数のルートを使用する上述の戦略の一つを使って、PSRMを以下の手順でコントロールできる：

1－各デスティネーションへの最低ルート性能計量を満足する各ルートの λR （障害回数/秒）の値を、PSRMから受信する情報により更新する。

【0186】

2－各デスティネーションノードへのルートのMTTF_{Routes}の値を算出する

。この計算手順は、複数のルートを使用するストラテジーに依存する。

【0187】

・ $MTTF_{Route}$ の値が $MTTF_{Route}$ に要求されるその最小値より小さければ、一つまたはそれ以上の追加ルートが必要であるかもしれない。

【0188】

・ 追加ルートが必要な場合、 ΨR_d がデスティネーションへの追加ルートを探索するために起動される。

新しいルートが見つかった場合、ルートの使用にその新しいルートを含めるよう適合させる。どのように行うかは、複数のルートを使用するストラテジーによる。例えば、ネットワーク時間符号化が使用される場合、符号レートとインターリーブパラメータは、追加ルートを適応させるように修正される。そのデスティネーションノードへのトラフィック（パリティを含む）の一部は、新しいルートを経由して送られてもよい。

【0189】

ΨT_d は、 ΨR_t がネットワークトポロジー（ノードとリンクの構成／状態）を決定するために使用する方法である。 ΨT_d は、ルート探索、ルート障害分析、およびルート維持の予測および非予測の面をサポートしている。プサイアクティブトポロジー探索は、二つの基本的起動タクティクスを使用する。第1に、予測がされたときにだけ起動する方法。第2に、同じ一群のノードの相対的に非常に短時間の接近したトポロジースナップショットを撮るためにトポロジー探索マイクロバースト（ $TDMBs$ ）を起動する方法。これは、他の情報からは必要とする分解能でノードの動き情報が得られない場合、ローカルなノードの動き特性を決めるのに役に立つ。

【0190】

ΨR_t は、予測的ルート探索が必要な場合、随時行われる広域ネットワークトポロジー更新からの情報を使用する。この広域トポロジー情報は、非常にフォーカスされたトポロジー更新（探索）がなされる、ノードのより限定的な部分集合が抽出できるグローバルマップとしての役割を果たす。次のプロセスにより、ノードの部分集合にトポロジー探索を限定する。ソースノード S_n が、次のパラメータを含むローカルトポロジーレポートメッセージを送る：

ターゲットとなるノードの部分集合内の各ノードの ID

- 1 各ターゲットノード周辺の N ホップの周辺探索
- 2 探索パケットの $Time-to-Live$
- 3 送出するトポロジーレポートの数
- 4 各トポロジーレポートのサンプリング期間

トポロジー探索の結果は、ルート探索パケットの伝播を制限するために使用できる。この結果は、ルート探索が、またそれゆえルートが及ぶべきノードの部分集合を特定することができる。 Ψ ルーティングのためのデフォルトトポロジー探索は、トポロジー探索起動時間においてソースノード S_n により特定されるエリアのみに限定されるリンク状態トポロジー探索法である。

【図面の簡単な説明】

【0191】

【図1】本発明によるモバイルアドホックネットワークを示す図である。

【図2】本発明によるモバイルアドホックネットワークの動作を示す図である。

【図3】本発明によるルートの探索と維持を管理する方法の段階を示すフローチャートである。

【図4】本発明のネットワークによるノードのルータを示す図である。

【図5】図4に示したルータのコントローラの詳細を示す図である。

【図6】プサイアクティブルーティングの一般的アーキテクチャを示す図である。

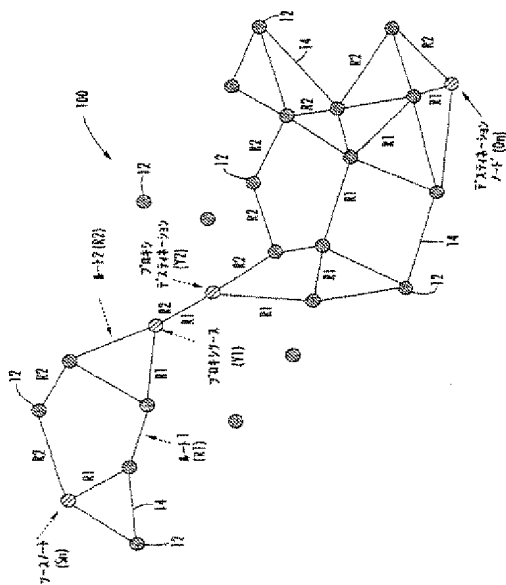
【符号の説明】

【0192】

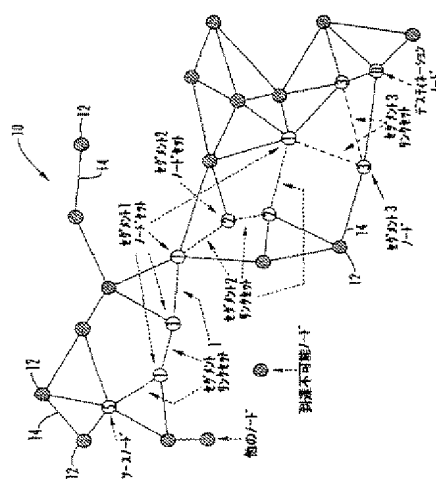
20 ルータ

- 22 通信デバイス
- 24 コントローラ
- 26 メモリ
- 30 ルート探索手段
- 32 ルート必要性予測手段
- 34 トポロジー／ダイナミクス予測手段
- 36 ルートテーブル
- 40 ルート維持手段

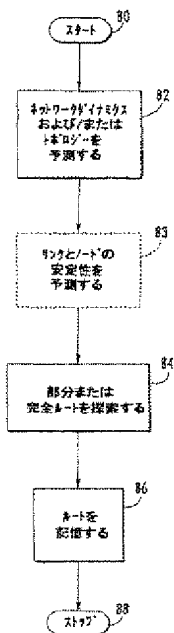
【図1】



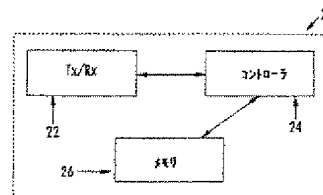
【図2】



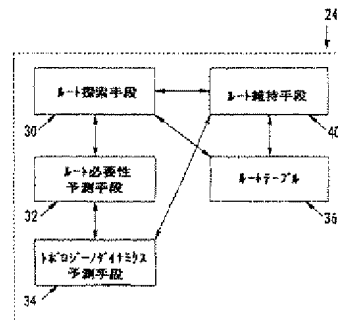
【图3】



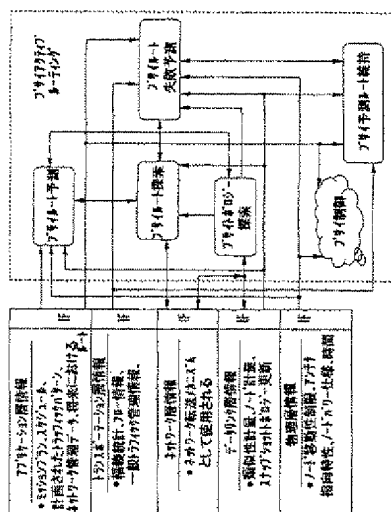
【例4】



【图5】



【图6】



(72)発明者 ロバート エイ ケネディー

アメリカ合衆国 フロリダ 3 2 9 4 0 メルバーン シェフィールド・プレイス 5 6 9 5

(72)発明者 ジョーゼフ ビブ ケイン

アメリカ合衆国 フロリダ 3 2 9 0 3 インディアランティック メルバーン・アヴェニュー
2 0 0

Fターム(参考) 5K030 GA12 JA11 JL01 JT09 KA05 LB05 LE16

5K033 AA05 CB01 DA19 DB12 DB18 EB02

5K067 AA21 DD44 DD45 DD46 DD57 EE02 EE10 EE16 GG01 HH22

HH23 JJ11 KK15 LL01 LL15